

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KINETIKA ŠÍŘENÍ VLHKOSTI V TEXTILIÍCH

**KINETICS OF DISTRIBUTION OF MOISTURE IN THE
FABRICS**

Liberec 2013

Bc. Jan Štefl

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Štefl**
Osobní číslo: **T11000046**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Textilní a oděvní technologie**
Název tématu: **Kinetika šíření vlhkosti v textiliích**
Zadávající katedra: **Katedra textilních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte rešerši na uvedené téma. Zaměřte se na metody měření šíření vlhkosti v textiliích. Popište vliv vlastností vláken a konstrukce textilie na šíření vlhkosti.
2. Prostudujte princip měření transportu vlhkosti v textiliích na přístroji Moisture Management Tester. Navrhněte metodiku pro měření a hodnocení kinetiky šíření vlhkosti textilií s využitím obrazové analýzy. Navrhněte vhodné parametry pro kvantifikaci rychlosti šíření vlhkosti v daném čase a směru. U vybraných vzorků plošných textilií proveďte měření s využitím navržené metodiky a přístroje Moisture Management Tester.
3. Popište výhody a nevýhody uvedených metod a diskutujte výsledky získané u vybraných textilií. Stanovte závěry s ohledem na navrženou metodiku.

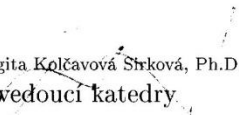
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] Onofrei, E., Rocha, A.M., Catarino, A.: The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties. Journal of Engineered Fibers and Fabrics Volume 6, Issue 4 - 2011, 12
<http://www.jeffjournal.org>.
[2] Das, B., Das, A., Kothari V.K., Fangueiro R., de Araújo, M.: MOISTURE TRANSMISSION THROUGH TEXTILES Part II: Evaluation Methods and Mathematical Modelling. AUTEX Research Journal, Vol. 7, No3, September 2007, © AUTEX.
[3] Miraftab, M.: Comparison of Air Permeability and Moisture Management Properties of Jersey, Interlock and Pique Knitted Fabrics. J Textile Sci Eng 2012, 2:6, <http://dx.doi.org/10.4172/2165-8064.1000120>.

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková
Katedra materiálového inženýrství
Konzultant diplomové práce: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií
Ostatní konzultanti: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství
Datum zadání diplomové práce: 30. října 2012
Termín odevzdání diplomové práce: 6. ledna 2014


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.


Ing. Brigita Kolčavová Šrková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. prosince 2013

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 6.1.2014

Podpis

Poděkování

Děkuji doc. Dr. Ing. D. Křemenákové, doc. Ing. M. Tunákovi Ph.D., prof. Ing. J. Wienerovi, Ph.D. a prof. Ing. J. Militkému, CSc. za konzultace a podporu při práci.

Dále děkuji svým rodičům, přátelům, kamarádům a všem, kteří mi byli nápomocni při zpracování této diplomové práce. Zejména pak Ing. M. Rottovi za jeho pomoc při zpracování skriptů Matlabu a Ing. M. Kašparové za podporu při zpracování diplomové práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá jednou částí kinetiky šíření vlhkosti v textiliích. Účelem je popis kinetiky šíření kapky vody na povrchu vybraných typů pletenin z hydrofobních vláken.

Teoretická část se zabývá mechanismy smáčení a šíření kapalin v textiliích. Jsou zde stručně popsány možné problémy při modelování kinetiky šíření kapaliny v textiliích, které jsou z geometrického hlediska velmi složitě popsitelné. V teoretické části jsou také nastíněny a popsány různé metody, jak lze změřit vztlínání kapaliny do textilie, odpor textilie proti průchodu vody a testování hydrofobility. Zvláštní pozornost je zaměřena na přístroj Moisture Management Tester (MMT).

V experimentální části je popis měření vybraných charakteristik textilií na přístroji MMT. Je navržena nová metodika, jak měřit a popsat kinetiku rozpíjení kapky vody po povrchu textilií. Tato metodika využívá obrazové analýzy a pro vyhodnocení jsou použity původní programy v jazyku Matlab.

Abstract

This diploma work is dealing with one part of moisture distribution kinetics in the textile fabrics. Main aim is description of water drop spread kinetics on the surface of selected knit tings created from hydrophobic fibers.

Theoretical part is focused on description of liquids wetting and spreading mechanisms in textile fabrics. The possible difficulties with modeling of moisture spread kinetics in textile structures due to their complex geometry are briefly discussed. Selected methods of wicking liquid into the fabrics, resistance to water penetration and testing of hydrophobicity are presented. Device called Moisture Management Tester (MMT) is described in details.

Measurements of selected characteristics of some knitted fabrics obtained from MMT are summarized in the experimental part. The new method of measurement and evaluation of water drop spread kinetics on the fabrics surface is proposed. The measurements are based on the image analysis of wet surface area and calculation are realized by own programs in Matlab software.

Klíčová slova

Povrchové šíření vody, „Moisture Management Tester“, Obrazová analýza, Matlab

Keywords

Water surface spread, Moisture Management Tester, Image analysis, Matlab

Obsah

1.	Rešeršní část.....	7
1.1.	Úvod	7
1.2.	Smáčení.....	8
1.2.1.	Difúze z kapky vody.....	9
1.3.	Dynamika vztlínání	14
1.4.	Dynamika procesu vztlínání kapaliny do přize	16
1.5.	Vztlínání kapaliny.....	18
1.6.	Metody měření šíření kapaliny	20
1.6.1.	Odpor textilie proti průchodu vody	20
1.6.1.1.	Vodní sloupec.....	20
1.6.1.2.	Spray Test	21
1.6.1.3.	Dešťový test.....	21
1.6.2.	Testování hydrofilicity.....	22
1.6.2.1.	Příčné vztlínání	22
1.6.2.2.	Podélné vztlínání	23
1.6.2.2.1.	Skvrnkový test – metoda jedné kapky	23
1.6.2.2.2.	Skvrnkový test – varianta kontinuálního toku	23
1.6.3.	Sífonový test.....	24
1.6.4.	Proužkový test.....	24
1.6.5.	Moisture Management Tester	26
1.6.5.1.	Princip činnosti přístroje	26
1.6.5.2.	Popis částí přístroje	27
1.6.5.3.	Princip měření.....	28
1.6.5.4.	Výstupní charakteristiky přístroje	30
1.6.5.5.	Hodnocení dle MMT.....	32
1.6.5.5.1.	Hodnocení textilií dle MMT	33
1.6.5.5.2.	Typy textilií dle MMT	33
2.	Experimentální část.....	38
2.1.	Materiál.....	38
2.1.1.	Coolplus.....	38
2.1.2.	Standard	38

2.2.	Úprava vzorků	40
2.3.	Příprava vzorků	41
2.4.	Postup měření	42
2.5.	Nasákavost	42
2.6.	Metodika s využitím obrazové analýzy	44
2.6.1.	Tvorba software	45
2.6.2.	Výsledky Coolplus.....	49
2.6.3.	Výsledky pro kruhová vlákna	55
2.7.	Poloměr kapky jako funkce času	59
2.7.1.	Poloměr kapky jako funkce času - Coolplus	59
2.7.2.	Poloměr kapky jako funkce času – kruhová vlákna.....	61
2.8.	Porovnání vzorků z vláken různých průřezů	63
2.9.	Porovnání s MMT	67
3.	Závěr.....	70
4.	Literatura.....	72

1. Rešeršní část

1.1. Úvod

Tato práce je zaměřena na vybrané problémy hodnocení transportu vlhkosti v textiliích. Cílem je navrhnout metodiku, jak s pomocí obrazové analýzy popsat kinetiku rozpíjení vodní kapky po povrchu textilie a porovnat některé výsledky s přístrojem Moisture Management Tester (MMT).

Teoretická část je zaměřena jak na metodu, využívající přístroje MMT, tak i na další metody zjišťování rozvodu vlhkosti po textiliích. U přístroje MMT je popsáno, na jakém principem funguje a jaké výstupy lze získat.

V experimentální části jsou popsány jednotlivé zkoumané vzorky. Jsou použity pleteniny z polyesterových vláken s různým tvarem příčného řezu. Speciální vlákna Coolplus s příčným řezem ve tvaru znaménka plus jsou porovnávána s referenčními polyesterovými vlákny s kruhovým průřezem.

Vzorky jsou zkoumány po třech typech předzpracování zohledňujících do různé míry vliv povrchové lubrikace a možné související změny struktury povrchu. Vzorky standardně prané, vyprané v lázni s urychlením sonifikací a extrahované v Soxhletově extraktoru jsou porovnány s vzorky nepranými.

Je popsána metoda, jak s pomocí obrazové analýzy popsat šíření kapaliny v ploše, tedy po povrchu zkoumaného vzorku. Vyhodnocení kinetiky šíření kapaliny po povrchu zkoumaných vzorků je realizováno v Matlabu. Vzorky jsou vzájemně porovnány v každé ze tří úrovní předzpracování. Jsou porovnány výsledky měření na MMT s metodikou využívající obrazové analýzy.

1.2.Smáčení

Smáčení je dynamický proces. Spontánní smáčení je migrace kapaliny přes povrch pevné látky směrem k termodynamické rovnováze. Na druhou stranu, vynucené smáčení zahrnuje vnější hydrodynamické a mechanické síly, které zvětšují plochu mezifází pevná látka-kapalina nad statickou rovnováhu. Smáčená plocha může být rovná nebo může mít komplikovanou geometrii. [14]. V širším významu je termín smáčení používán k popisu vztahu mezi rozhraními pevná látka-kapalina, kapalina-vzduch a pevná látka-vzduch.

Podle Adamsona je zdánlivý povrch kapaliny nebo pevné látky ve skutečnosti rozhraním v rovnováze s další fází, kterou je pevná látka, kapalina nebo plyn [15]. Řada fyzikálních a chemických procesů probíhá na rozhraní mezi sousedícími fázemi. Fáze je část objemu zkoumaného systému, ve které jsou vlastnosti konstantní nebo se spojitě mění v prostoru. Z makroskopického hlediska fázovým rozhraním rozumíme plochu, na které se jedna nebo více vlastností mění skokem. Z mikroskopického (resp. molekulárního) hlediska mají fázová rozhraní určitou tloušťku i objem. Vlastnosti fázového rozhraní jsou ovlivňovány vlastnostmi obou stýkajících se fází.

Smáčení vláknenného svazku, stejně jako textilie, je komplikovaný proces. Různé smáčecí mechanismy, jako vztlínání, proudění, adheze a kapilární penetrace se mohou vyskytovat současně.

O energetické výhodnosti smáčení pevné látky kapalinou rozhodují následující faktory:

- kvantita a kvalita mezimolekulárních sil v kapalině,
- kvantita a kvalita mezimolekulárních sil v pevné látce,
- rovnoměrnost povrchu pevné fáze.

Platí, že kapalina bude smáčet povrch pevné látky nejochotněji, pokud bude mít stejnou kvantitu a kvalitu mezimolekulárních sil – látky budou mít velmi blízké molekulární složení. Např. voda ideálně smáčí led (při 0° C) [14].

Smáčivost je ovlivněna pouze povrchem pevné látky, protože kapalina do hmoty pevné látky neproniká. Praktickým projevem tohoto faktu při smáčení textilií je např. velký vliv aviváže, povrchové modifikace vláken a finálních úprav [14]. Smáčivost

textilie je vysoce závislá např. i na kvalitě odšlichtování - na tomto principu je založen jeden ze základních testů pro hodnocení stupně odšlichtování.

Při styku více fází dojde vždy k takovému uspořádání systému, aby součet jeho povrchových energií byl minimální.

Smáčení je dynamický proces. Spontánní smáčení je migrace kapaliny přes povrch pevné látky směrem k termodynamické rovnováze. Na druhou stranu, vynucené smáčení zahrnuje vnější hydrodynamické a mechanické síly, které zvětšují plochu mezifáze pevná látka-kapalina nad statickou rovnováhu. Smáčená plocha může být rovná nebo může mít komplikovanou geometrii [14].

1.2.1. Difúze z kapky vody

Mějme kruhový vzorek textilie o tloušťce L_z a průměru L_r . Kapalina se na něj umístí na vrchní stranu tak, aby kapka byla ve středu vzorku. Tento model byl vyvinut za předpokladu, že dodávka vody na textiliu se blíží Diracově skokové funkci za izotermických podmínek. Gravitační síly jsou v tomto modelu zanedbány. Difúze vody v místě r, z (r definuje poloměr a z definuje vzdálenost od povrchu) na textiliu je pak vyjádřena rovnicí:

$$\frac{\partial(w)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(D_r \frac{1}{r} \left(\frac{\partial(rw)}{\partial r} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \left(\frac{\partial(w)}{\partial z} \right) \right) \quad (1)$$

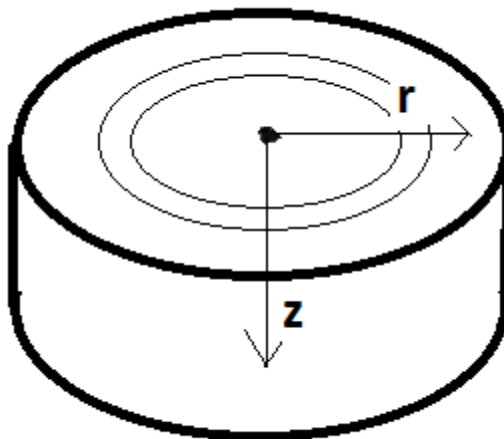
w ... hmotnostní podíl kapaliny,

D_r ... koeficient ve směru r ,

D_z ... koeficient ve směru z .

Jednotlivé nezávisle proměnné jsou v rozmezích $0 < t < t_f$, $0 < r < L_r/2$, $0 < z < L_z$.

Počáteční stav musí být reprezentován Diracovou skokovou funkcí kvůli usnadnění řešení modelových rovnic. Proto v počátečním čase je objemový podíl kapaliny vyjádřen jako součin radiální a příčné složky [2].



Obr. 1: Popis veličin při difúzi ze zdroje v počátku do válce

Kapalina ve tvaru kapky je na textilií umístěná v kruhové oblasti definované poloměrem R_{inj} a tloušťkou e . V této oblasti je objemový podíl kapaliny \mathcal{E}_{inj} a na zbytku textilie je roven nule. Proto může být řešení vyjádřeno jako:

$$w(r, z, t) = A(z, t) \cdot R(r, t) \cdot \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Kde příčné a radiální podmínky jsou dány řešením těchto parciálních diferenciálních rovnic:

$$\frac{\partial^2 A}{\partial z^2} = \frac{1}{D_z} \frac{\partial A}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial R}{\partial r} = \frac{1}{D_r} \frac{\partial R}{\partial t} \quad (4)$$

Při řešení je použita metoda separace proměnných. Analytické řešení vyjadřující modelové rovnice s danými počátečními podmínkami je vyjádřeno jako:

$$\varepsilon(r, z, t) = \frac{1}{\rho} \left[A_0 + 2A_0 \sum_{k=1}^{+\infty} \cos\left(\frac{k\pi z}{L_z}\right) \exp\left(-D_z \frac{k^2 \pi^2}{L_z^2} t\right) \right] \cdot \left[B_0 \sum_{k=1}^{+\infty} B_k J_0\left(\alpha_k \frac{2r}{L_r}\right) \exp\left(-D_r \frac{4\alpha_k^2}{L_r^2} t\right) \right] \quad (5)$$

kde

$$A_0 = \frac{M e_0}{\rho \pi R_{inj}^2 L_z}$$

$$B_0 = \frac{4R_{inj}^2}{L_r^2}$$

$$B_k = \frac{4R_{inj}}{\alpha_k L_r} \frac{J_1\left(\frac{2\alpha_k R_{inj}}{L_r}\right)}{J_0^2(\alpha_k)}$$

$\alpha_k \dots$ k-tý kořen Besselovy funkce J_1

V případě šíření kapaliny po povrchu textilie je veličina $z = 0$. Proto můžeme vzorec (5) zjednodušit na tvar:

$$w(r, 0, t) = \frac{1}{\rho} (B_0 \cdot e^{-K_1 t} + B_1 \cdot e^{-K_2 t}) \quad (6)$$

Je zřejmé, že řešení obecně zahrnuje dvě konvergující nekonečné řady. Díky nim je možné spočítat hodnotu podílu objemu kapaliny v místě r , z a v čase t . Je důležité poznamenat, že rychlost konvergence řad se zpomaluje s přibližováním času k nule (počátku experimentu) [2].

Pro výpočet hmotnostního podílu kapaliny lze použít také obecné řešení difúze do válce. Pro krátké časy platí přibližný vztah [3].

$$w = \frac{M_t}{M_\infty} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{Dt}{\left(\frac{L_r}{2}\right)^2} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{Dt}{\left(\frac{L_r}{2}\right)^2} - \frac{1}{3\sqrt{\pi}} \left(\frac{Dt}{\left(\frac{L_r}{2}\right)^2} \right)^{\frac{1}{2}} + \dots \quad (7)$$

kde

L_r ... poloměr vzorku [mm],

t ... čas [s],

M_t ... aktuální hmota kapaliny,

M_∞ ... hmota kapaliny v rovnováze (nekonečném čase).

Vztah (7) je možno obecně použít pouze při difúzi do válce.

Rozpíjení kapky lze také vyjádřit změnami poloměru kapky R jako funkce času. Tento model je znám jako Tannerův zákon[43].

$$R_{(t)} = \left[\frac{10\gamma}{9B\eta} \left(\frac{4V}{\pi} \right)^3 t \right]^{\frac{1}{10}} \quad (8)$$

kde

V ... objem kapaliny [kg/m^3],

B ... konstanta,

η ... viskozita,

γ ... povrchové napětí.

Je dobré si všimnout, že Tannerův zákon šíření nezávisí na počátečním součiniteli šíření kapaliny.

Tannerův zákon pracuje s kapkami o velmi malém průměru. S rostoucím poloměrem kapky kapka naplní kapiláry a poté jsou již kapiláry nefunkční. Od tohoto časového úseku je hlavní hnací silou gravitace. V tomto čase je již kapka téměř v rovnováze a nyní veličina R odpovídá t^n . Exponenty n získané různými experimenty jsou v tabulce 1.

Tabulka 1: Exponenty n z různých experimentů

	n - koeficient	Experiment
3D, s.t.-c.t.	1/10	Cazabat and Cohen-Stuart, 1986
2D, s.t.-c.t.	1/7	McHale et al., 1995
3D, gr.-c.l.	1/7	Ehrhard, 1993
2D, gr.-c.l.	1/4	Není známo
3D, gr.-vis.	1/8	Huppert, 1982
2D, gr.-vis.	1/8	Cazabat and Cohen-Stuart, 1986
2D, gr.-vis.	1/5	Není známo

kde

s.t. ... povrchové napětí,

gr. ... gravitace,

c.l. ... kontaktní přímka,

vis. ... viskozita.

Podle Hartha a Shuberta je možné také dynamiku šíření popsat jinak [45]. Pokud je kapka umístěna na hladký a horizontální povrch, obvykle není v termodynamické rovnováze. Proto se kapka rozpíjí, dokud není dosaženo rovnováhy. S přihlédnutím na kapilární, gravitační a viskózní složky, lze poloměr kapky vyjádřit jako funkci času:

$$r(t) = r_e \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{2\gamma_{LG}}{r_e^{12}} + \frac{\rho g}{9r_e^{10}} \right) \frac{24\lambda V^4 (t + t_0)}{\pi^2 \eta} \right) \right]^{\frac{1}{6}} \quad (9)$$

Pro dokonalou smáčecí situaci je poloměr kapky během procesu šíření dán vztahem:

$$r(t) = \left[\left(\gamma_{LG} \frac{96\lambda V^4}{\pi^2 \eta} (t + t_0) \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{\lambda(t + t_0)}{\eta} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{24\rho g V^{\frac{3}{8}}}{7 \cdot 96^{\frac{1}{3}} \pi^{\frac{4}{3}} \gamma_{LG}^{\frac{1}{3}}} \right]^{\frac{1}{6}} \quad (10)$$

kde

γ_{LG} ... povrchové napětí kapaliny,

V ... objem kapky [mm^3],

η ... viskozita kapaliny,

ρ ... hustota kapaliny [kg/m^3],

g ... gravitační zrychlení [m/s],

λ ... tvarový faktor,

t_0 ... čas experimentu [s],

r_e ... poloměr kapky v rovnováze [mm].

1.3. Dynamika vztlínání

Lucas-Waschburnův vztah není dostatečně přesnou aproximací kapilární reality ani na nejjednodušších kapilárních systémech, nejmarkantněji je to patrné u omezení platnosti Lucas-Waschburnovy rovnice: Lze ji použít pouze pro vztlínání kapaliny, které neprobíhá proti (či ve) směru gravitace. Obvykle uváděnou platnost v počátku libovolného procesu vztlínání je třeba brát s rezervou [14].

Základním vztahem pro popis dynamiky procesu vztlínání je Lucas-Waschburnova rovnice (11), která se používá již téměř sto let [39][40]. Tato rovnice vychází z rovnováhy mezipovrchových a gravitačních sil pro kapalinu mezi vlákny a lze ji použít pro výpočet dynamiky vztlínání u systému rovnoběžných kapilár.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{R \cdot \rho \cdot g \cdot (2\sigma \cdot \cos(\phi) - H \cdot R)}{8 \cdot H \cdot \eta} \quad (11)$$

η ... viskozita kapaliny,

H ... sací výška [m] v čase t ,

R ... poloměr kapiláry [m].

Lucas-Waschburnův vztah je založen na znalosti kontaktního úhlu kapaliny s

vlákem, povrchového napětí kapaliny a geometrie pórů. V tomto tvaru je Lucas-Waschburnův vztah pro popis vztlínání kapaliny do reálné vlákenné struktury (např. přízí, tkaniny) nepoužitelný. Zde jsou hlavní důvody:

- Pokud vztlíná kapalina v přízi, nebo jakémkoliv textilním útvaru, hraje roli i hladina kapaliny na svislém povrchu textilie – tento parametr není v rovnici zahrnut.
- Popsat nadvláknou stukturu pomocí jednoho parametru (poloměr pórů) je nemožné, poloměr pórů se mění s deformací struktury (může být způsobena i vztlínající kapalinou) a jeho zdánlivá hodnota bude vysoce závislá na použité kapalině (budou smočeny různé oblasti textilie).

U textilních útvarů lze rovnici (11) použít k výpočtu dynamiky vztlínání jen u nezakrouceného hedvábí. Pro praktické použití v oblasti textilních aplikací není tato metoda vhodná.

Pro přízi (nebo hedvábí) s velkým počtem vláken lze použít tento vztah [41]:

$$H_{max} = \frac{\sigma_{LG} \cdot 2\cos(\phi) \cdot \mu \cdot (1 + q)}{R_v \cdot g \cdot \rho \cdot (1 - \mu)} \quad (12)$$

H_{max} ... rovnovážná sací výška [m],

μ ... zaplnění [-],

q ... tvarový faktor vlákna [-],

ρ ... hustota kapaliny [$kg \cdot m^{-3}$],

R_v ... poloměr vlákna [m],

N ... počet vláken v řezu nitě [-],

σ_{LG} ... povrchové napětí kapaliny [$N \cdot m^{-1}$],

ϕ ... Kontaktní úhel mezi povrchem kapaliny a vlákna [°].

1.4. Dynamika procesu vztlínání kapaliny do příze

Hagen-Poiseuillův zákon popisuje účinek tlaku na rychlost proudění newtonovské kapaliny v trubici. Objem kapaliny V , který proteče za čas t trubicí o poloměru R a délce l , pokud mezi jejími konci je tlakový rozdíl $\Delta P = (P_2 - P_1)$, je dán výrazem:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{R^2 \cdot \Delta P}{8 \cdot \eta \cdot l} \quad (13)$$

Pro popis tlakového spádu je nutné pracovat s hydrostatickým tlakem:

$$P = -H \cdot \rho \cdot g \quad (14)$$

Protože je sledován případ smáčivých povrchů, dochází ke vztlínání nad volnou hladinu kapaliny. Hodnoty H jsou větší než nula a tlak nabývá záporných hodnot.

Pro případ samovolného vztlínání se mění P a H , platí:

- Delta P je dána rozdílem mezi hydrostatickými tlaky P_1 a P_2 .
- P_1 je hodnota tlaku, kterého bude dosaženo na nejvyšším místě vyvzlínané kapaliny v rovnováze – ve výšce H_{max} nad volnou hladinou:

$$P_1 = -H_{max} \cdot \rho \cdot g \quad (15)$$

P_2 je aktuální hydrostatický tlak na okamžitém nejvyšším místě vyvzlínaného útvaru kapaliny.

$$P_2 = -H \cdot \rho \cdot g \quad (16)$$

Tlakový rozdíl lze vypočítat jako rozdíl tlaků P_1 a P_2 .

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho \cdot g (H_{max} - H) \quad (17)$$

Délka trubice je přímo úměrná sací výšce H . V ideálním případě přímé kapiláry je délka trubice stejná jako sací výška. V případě zakřivených kapilár (např. v přízi) tomu tak není, proto je vhodné pracovat s korekčním parametrem k :

$$l = H \cdot k \quad (18)$$

Pak po dosazení do Hagen-Poiseuilleova vztahu vyplývá:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot (H_{max} - H)}{8 \cdot H \cdot \eta \cdot k} \quad (19)$$

Tato rovnice je paralelou (resp. zobecněním) známého Lucas-Waschburnova vztahu – viz rovnice (11). Rovnice (19) neumožňuje analyticky vyjádřit závislost sací výšky na čase. Problémy přináší řešení následující rovnice. Integrál na pravé straně rovnice neumožňuje vyjádřit v analytické podobě závislost sací výšky na čase:

$$\int_0^{H(t)} \frac{H}{H_{max} - H} dH = \int_0^t \frac{R^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \eta \cdot k} dt \quad (20)$$

Pro získání analytického řešení je obvykle tvar Lucas-Waschburnova vztahu zjednodušen na:

$$\int_0^{H(t)} \frac{H}{H_{max}} dH = \int_0^t \frac{R^2 \cdot \rho \cdot g}{8 \cdot \eta \cdot k} dt \quad (21)$$

Řešení pak vede na jednoduchý vztah, který bude v dalším textu označován jako Odmocninová aproximace [14]:

$$H(t) = \sqrt{\frac{t \cdot R^2 \cdot \rho \cdot g \cdot H_{max}}{4 \cdot \eta \cdot k}} \quad (22)$$

Tato rovnice popisuje s vyhovující přesností počáteční část procesu vztlínání. Pokud zvolíme jako kritérium přijatelnosti maximálně 5% odchylku aproximace od reálné hodnoty, pak lze použít odmocninovou aproximaci do dosazení 30% z rovnovážné sací

výšky. Nad touto hodnotou chyba odmocninové aproximace prudce stoupá. Tento závěr plyne nejen z modelových dat, ale lze jej pozorovat i na datech experimentálních [42].

1.5. Vztlínání kapaliny

Transport kapaliny do vláknenného svazku, stejně jako příze nebo tkaniny může být zapříčiněn vnějšími silami nebo kapilárními silami. Spontánní transport kapaliny směřovaný do porézní soustavy kapilárními silami je nazýván vztlínáním. Protože kapilární síly jsou příčinou smáčení, vztlínání je výsledek spontánního smáčení v kapilárním systému [14].

Vztlínání a smáčení nejsou dva odlišné procesy. Smáčení je předpokladem pro vztlínání. Kapalina, která nesmáčí vlákna, nemůže vztlínat do textilie. Ke vztlínání může dojít, pouze když jsou shluky vláken s kapilárními mezerami mezi nimi smáčeny kapalinou. Výsledné kapilární síly vedou kapalinu do kapilárních prostor [14].

Vztlínání nastane, jestliže je textilie úplně nebo částečně ponořena do kapaliny nebo je v kontaktu s určitým množstvím kapaliny, jako např. kapka nanesená na textilií. Poté může dojít ke kapilárnímu průniku kapaliny z nekonečného nebo omezeného zásobníku kapaliny. Mezi vztlínací procesy z nekonečného zásobníku patří imerze (ponoření), transplanární (příčné) vztlínání a podélné vztlínání. Vztlínání z omezeného zásobníku se vysvětluje pomocí kapky situované na povrchu textilie [14].

Povrchově aktivní látky výrazně ovlivňují vztlínání a jeho kinetiku, zejména vztlínání z omezeného zásobníku kapaliny (tj. malé množství kapaliny).

Vztlínání rozdělujeme podle působení vnějších sil. Pokud na kapalinu při vztlínání nepůsobí vnější síly, jedná se o vztlínání samovolné. Pokud na kapalinu při vztlínání působí vnější síly, jedná se o vztlínání nucené [14].

Vztlínání lze rozdělit dle směru vedení kapaliny – čelo kapaliny může při experimentu stoupat, neměnit svoji výšku nebo může klesat.

Jiným kritériem je rozdělení procesu vztlínání dle objemu zásobníku kapaliny, ze kterého ke vztlínání dochází. Ten může být nekonečný nebo konečný (malého objemu).

Dle orientace vláken vůči směru pronikání kapaliny lze vztlínání rozdělit na vztlínání podélné a kolmé [14].

Vztlínání kapaliny do válcové kapiláry

Kapalina, která se dostane do kontaktu s kapilárou, do ní samovolně proniká, dokud se neustaví rovnováha. Tento proces se nazývá vztlínání. Vztlínání probíhá jen tehdy, je-li povrch kapiláry kapalinou smáčen [14].

O sací výšce (výšce, do které kapalina vyvzlíná v nekonečném čase) rozhoduje rovnováha mezi silou gravitační (F_G) a silou vztlínání (F_P), která je dána silovou rovnováhou mezipovrchových sil na rozhraní kapalina-plyn-pevná látka [14].

Gravitační síla (F_G) působící proti vztlínání je funkcí sací výšky (H). Pro válcovou kapiláru platí [14]:

$$F_g = m \cdot g = S \cdot H \cdot \rho \cdot g = \pi \cdot R_K^2 \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad (23)$$

m ...hmotnost [kg],

g ...gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

S ...plocha podstavy válcové kapiláry [m^2],

R_K ...poloměr podstavy válcové kapiláry [m],

H ...sací výška [m],

ρ ...hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Síla vztlínání (F_P) je na sací výšce nezávislá a je funkcí pouze geometrických a fyzikálně-chemických vlastností rozhraní kapalina-plyn-pevná látka. Pro válcovou kapiláru platí [14]:

$$F_p = O \cdot \sigma_{LG} \cdot \cos(\phi) = 2\pi \cdot R_K \cdot \sigma_{LG} \cdot \cos(\phi) \quad (24)$$

O ...obvod podstavy válcové kapiláry [m],

σ_{LG} ...mezipovrchové napětí kapalina-vzduch [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$],

ϕ ...kontaktní úhel [-] [14].

Na základě rovnováhy těchto dvou sil (rovnice (23) a (24)) lze vyjádřit rovnovážnou sací výšku H_{Max} [14]:

$$H_{MAX} = \frac{2\sigma_{LG} \cdot \cos(\phi)}{\rho \cdot g \cdot R_K} \quad (25)$$

σ_{LG} ... mezipovrchové napětí kapalina-vzduch [$N \cdot m^{-1}$],

ϕ ... kontaktní úhel [-],

g ... gravitační zrychlení [$m \cdot s^{-1}$],

R_K ... poloměr podstavy válcové kapiláry [m].

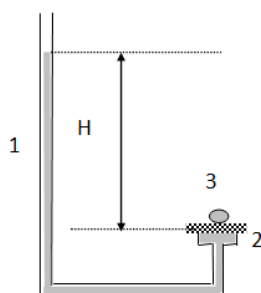
Vztah (25) platí pro kapiláry, resp. obecně pro struktury, kde se s postupujícím vztlínáním kapaliny nemění povrch kapaliny. Při vztlínání do textilií je část povrchu útvaru vždy tvořena vlákny a část kapalinou – podmínka platnosti u textilií není tedy splněna [14].

1.6. Metody měření šíření kapaliny

1.6.1. Odpor textilie proti průchodu vody

1.6.1.1. Vodní sloupec

Textilie se převrství kapalinou tak, aby hydrostatický tlak mohl působit na textilii. Tato testovací metoda měří odpor tkaniny proti pronikání vody za hydrostatického tlaku [16, 17]. Standardním výsledkem je minimální tlak, který dokáže protlačit kapku vody textilií za definovaných podmínek.



Obr. 2: Vodní sloupec

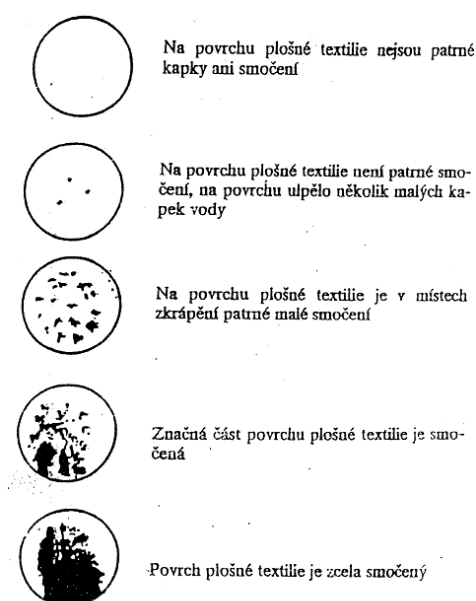
Na obr. 2 je použito označení: 1... kapilára s kapalinou, 2 ... testovaný vzorek, 3 ... kapka prošlá vzorkem

Speciální variantou metody vodního sloupce je “pánvová zkouška”. V tomto případě je z textilie vytvořena nádoba, do které se vlije voda (např. ve vrstvě 100 mm). Měříme čas, za který projdou textilií tři kapky vody [18].

Realizaci tohoto testu nemusí být pouze trubice s kapalinou, jak je naznačeno na předchozím obr. Experimentální uspořádání je většinou realizováno pomocí laboratorního přístroje, který automaticky zvyšuje tlak kapaliny působící na textilii. Experimentální uspořádání se mohou lišit podle toho, zda tlak vody působí na zkušební vzorek shora nebo zespodu [19].

1.6.1.2. *Spray Test*

Metoda spočívá ve stanovení vodoodpudivosti plošné textilie skrápěním umělým deštěm za definovaných podmínek. Hodnocení je provedeno srovnáním výsledku zkoušky s etalonem [20, 21, 22].



Obr. 3: Etalon pro spray test

1.6.1.3. *Dešťový test*

Testovaný vzorek je napnut na zvážené nádobce a je sprchován vodou pět minut za definovaných podmínek. Nádobka je následně zvážena pro určení množství kapaliny prošlé textilií během testu [23].

1.6.2. Testování hydrofility

Jedná se o sledování nasákavosti a samovolného pronikání kapaliny do textilie nebo skrz textilií.

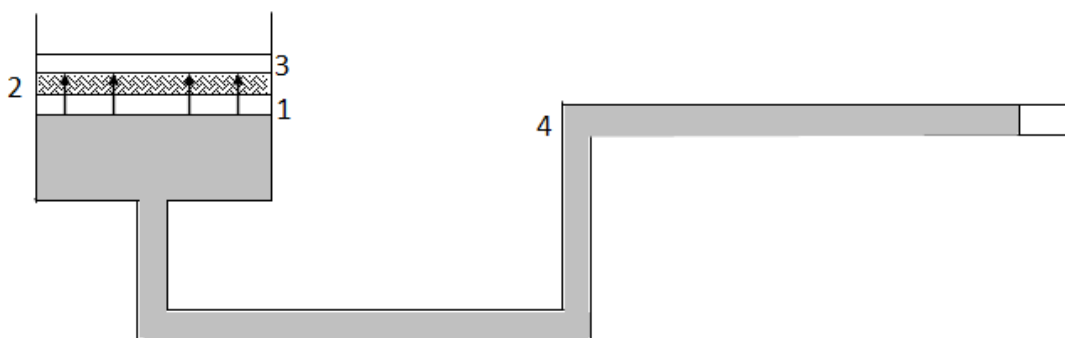
Z hlediska převažující orientace vláken vůči hlavnímu směru pronikání kapaliny textilií lze rozdělit vztlínání na příčné vztlínání (kolmo na vlákna resp. textilií) a podélné vztlínání (ve směru vláken resp. textilie) [14].

1.6.2.1. Příčné vztlínání

Deskový test

Cílem testu je stanovit, jak kapalina proniká testovanou textilií (“příčné vztlínání”).

Za definovaného přtlaku se sleduje průměrná rychlost transportu kapaliny do textilie v intervalu 10 minut, nebo dokud se kapilární trubice nevyprázdní (platí kritérium, které nastane dříve) [24, 25, 26, 27].



Obr. 4: Deskový test

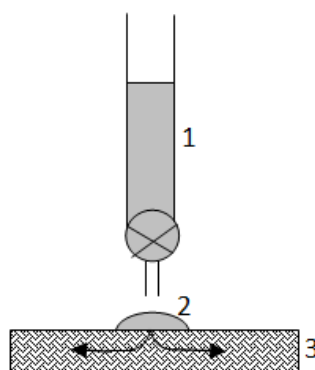
Na obr. 4 je použito označení: 1 ... spěkaná (porézní) skleněná deska, 2 ... testovaná textilie, 3 ... závaží, 4 ... kapilára s vodou

Podobných testů sledujících příčné vztlínání je velké množství. Liší se v experimentálních detailech – např. přívod kapaliny k textilií, odvod kapaliny prošlé textilií, přtlak [28, 29].

1.6.2.2. Podélné vztlínání

1.6.2.2.1. Skvrnkový test – metoda jedné kapky

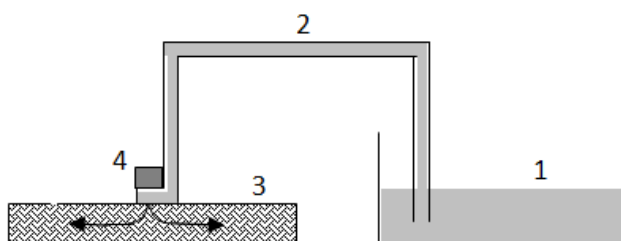
Definovanou kapku umístíme na textilní vzorek a sledujeme dobu vsátí kapky do textilie (max. do 5 minut) [29].



Obr. 5: Skvrnkový test – metoda jedné kapky

Na obr. 5 je použito označení: 1 ... zásobník kapaliny, 2 ... kapka na textili, 3 ... testovaná textilie.

1.6.2.2.2. Skvrnkový test – varianta kontinuálního toku



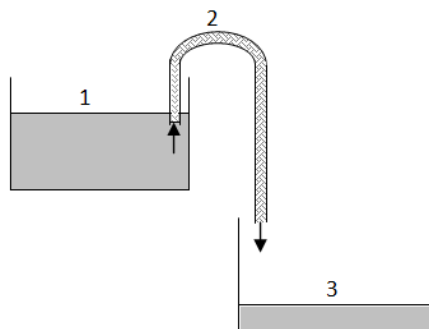
Obr. 6: Skvrnkový test – varianta kontinuálního toku

Na obr. 6 je použito označení: 1 ... zásobník kapaliny, 2 ... knot, 3 ... testovaný vzorek, 4 ... závaží.

Testuje se po dobu 5 minut, nebo dokud smočená oblast nedosáhne okraje vzorku o průměru 60 mm (platí kritérium, které nastane dříve). Měřený parametr vztlínání je průměrná rychlost zvětšování poloměru smočené oblasti S mm/min [29, 30, 31].

1.6.3. Sifonový test

Sledujeme rychlost vedení kapaliny testovanou textilií. Podmínky jsou patrné z následujícího obrázku:



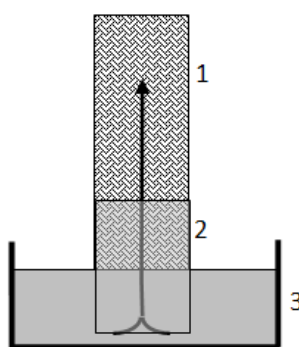
Obr. 7: Sifonový test

Na obr. 7 je použito označení: 1 ... zásobník kapaliny, 2 ... testovaná textilie, 3 ... sběrná kádinka pro kapalinu prošlou vzorkem.

Měříme dobu do skápnutí první kapky do sběrné kádinky (max. do 5 minut) [32, 33, 34, 35].

1.6.4. Proužkový test

Definovaný textilní vzorek se upne do držáku a jeho dolní konec se vnoří do kapaliny (10 mm). Standardně se sleduje, kam kapalina vyvzlínala v definovaném čase (tzv. sací výška) 5 minut [36, 37, 38].



Obr. 8: Proužkový test

Na obr. 8 je použito označení: 1 ... vzorek, 2 ... vzorek s navzlínanou kapalinou, 3 ... zásobník kapaliny.

Jako výsledek testu se uvádí výška kapaliny vyvzlínané nad hladinu zásobníku H mm, hmotnost kapaliny vyvzlínané nad hladinu zásobníku vztažená k hmotnosti proužku suché textilie o délce H až M , vzlínavost W [14].

$$W = \frac{M \cdot H}{100} \quad (26)$$

1.6.5. Moisture Management Tester

Schopnost textilie přenášet vlhkost ve více dimenzích má významný vliv na vnímání vlhkosti uživatelem textilie. Některé normy a zkušební metody lze využít pro vyhodnocení jednoduché savosti a nasákavosti tkaniny. Např. dobu průniku kapaliny netkanými textiliemi pak lze testovat dle normy ISO 9073-8. Stávající normy nicméně neumožňují změřit parametry dynamického přenosu vlhkosti v tkanině [4].



Obr. 9: MMT [7]

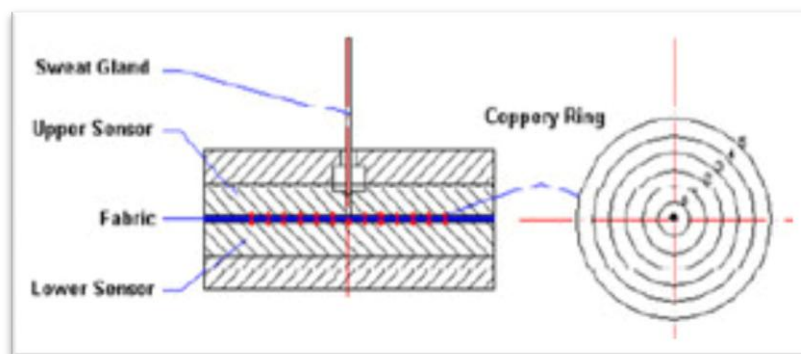
Přístroj Moisture Management Tester (MMT) slouží k měření dynamického šíření vlhkosti v textilních materiálech, např. v pleteninách a tkaninách, ve třech rozměrech:

- 1) Savost – doba pohlcování vlhkosti tkaninou z rubové i lícové strany,
- 2) schopnost jednosměrného přenosu vlhkosti – jednosměrný přenos vlhkosti z rubové strany na lícovou stranu textilie,
- 3) rychlost šíření / vysychání – rychlost šíření vlhkosti na rubové i lícové straně textilie.

1.6.5.1. Princip činnosti přístroje

Přístroj se skládá z horních a dolních soustředně umístěných čidel vlhkosti, mezi které se vkládá testovaná textilie. Předem stanovené množství zkušebního roztoku (syntetický pot) se aplikuje na horní stranu textilie, poté se sleduje šíření roztoku materiálem ve třech směrech [4]:

- 1) Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na horní straně textilie,
- 2) přenos roztoku textilií z horní strany na spodní,
- 3) šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na spodní straně textilie.

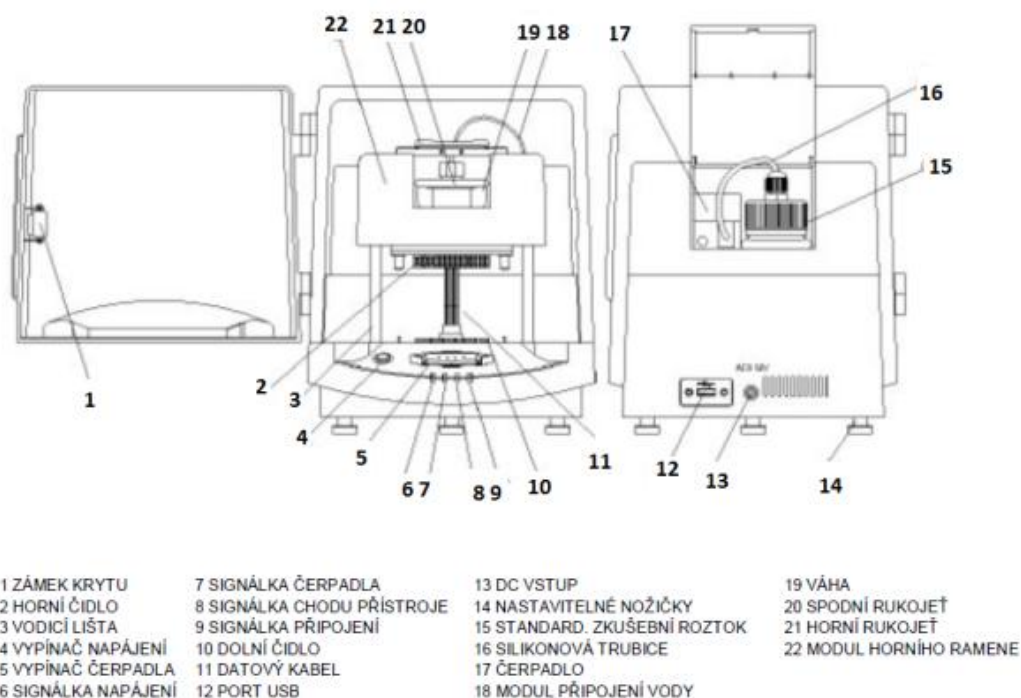


Obr. 10: Měřicí část MMT [8]

Soustředné kruhy jsou od sebe vzdáleny po pěti milimetrech, proto hodnota Max Wetted Radius je vždy 0; 5; 10; 15; 20; 25 nebo 30 mm.

Přístroj MMT je navržen pro sledování, měření a zaznamenávání šíření kapaliny textilií ve více směrech. Z řad naměřených hodnot se následně vypočítá charakteristická schopnost managementu vlhkosti testovaného textilního vzorku [4].

1.6.5.2. Popis částí přístroje



Obr. 11: Části přístroje [4]

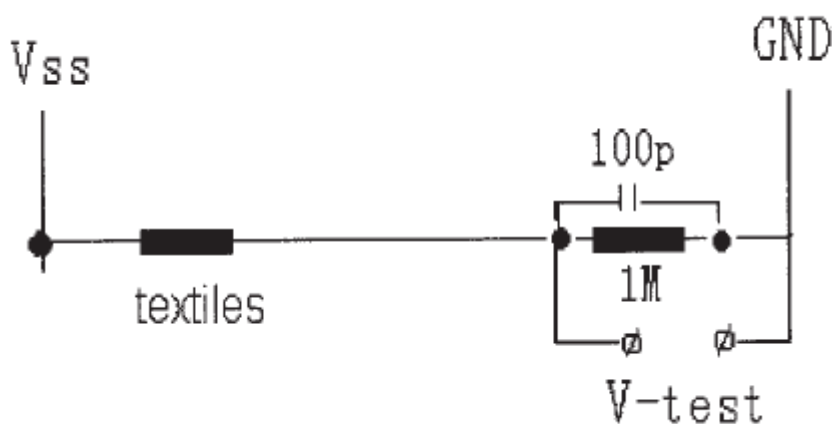
1.6.5.3. Princip měření

Pokud je vlhkost vpravena do textilie, tak se změní stykový elektrický odpor na textili. Tento elektrický odpor závisí na dvou faktorech [1]:

- 1) složení smáčecí kapaliny,
- 2) obsah vody na textili.

Pokud potlačíme vliv složení smáčecí kapaliny, tak naměřený elektrický odpor odpovídá obsahu vody v textili [10].

V uzavřeném obvodu je elektrický odpor textilií obvykle velice vysoký. Proto zde není žádný elektrický proud a napětí na referenčním odporu ($1\text{M}\Omega$) se téměř rovná nule. Nicméně pokud je textilie vlhká, sníží se tento elektrický odpor řádově o stovky kiloohmů. Z tohoto důvodu může být změna napětí detekována na odporu. Z tohoto poznání se tato metoda používá pro měření obsahu vody na obou povrchích textilie [11].



Obr. 12: Model testovací metody

Pokud napětí mezi V_{ss} a GND je V_0 , odpor textilie je R_f a odpor rezistoru ($1\text{M}\Omega$) je R_c , potom $V\text{-test}$ (V_1) je [1]:

$$V_1 = \frac{V_0 R_c}{R_c + R_f} \quad (27)$$

proto

$$\frac{R_f}{R_c} = \frac{V_0}{V_1} - 1 \quad (28)$$

kde R_f je funkce obsahu vody (M), podle následující rovnice:

$$\frac{1}{R_f} = AM \quad (29)$$

Proto M může být vyjádřeno jako [10]:

$$M = \frac{1}{AR_c} \frac{V_1}{V_0 - V_1} \quad (30)$$

Lze tedy vyvodit, že pro určité textilie je M kladné, lineární a související s $V_1/(V_0 - V_1)$, který je principem pro zjištění obsahu vlhkosti v textilií. Hodnota pro veličinu A byla určena z kalibračního měření, aby se našel vztah mezi veličinami R_f a M pro jednotlivé kruhy [10].

Vzorek se vloží mezi dva senzory, které jsou stisknuty určitým tlakem. Přesné množství kapaliny se přes potíci žlázu přivede na povrch vzorku. Mezitím počítač dynamicky zaznamenává změnu elektrického odporu mezi každým párem soustředných kovových kruhů, které jsou v horní i dolní čelisti přístroje. Roztok se textilií šíří ve třech směrech, všemi směry po povrchu textilie, skrz textilií z horní strany na spodní a šíření roztoku všemi směry na spodní straně textilie. Elektrický odpor se mezi každým párem kovových kroužků snižuje, protože roztok může vést elektřinu teprve, když projde do oblasti, kde je obklopen dvěma vodivými kroužky. Zařízení je propojeno s počítačem, takže je signál hned zaznamenáván a zpracováván. Z tohoto důvodu je obsah kapaliny v textilií na obou površích stanoven rovnicemi [1]:

$$U_t = \sum_{i=0}^5 M_{ti} \quad (31)$$

$$U_b = \sum_{i=0}^5 M_{bi} \quad (32)$$

kde U_t je celkový obsah vody na vrchní straně textilie a U_b je obsah vody na spodní straně textilie a M_{ti} a M_{bi} značí obsah vody v oblasti mezi každým párem vodivých kroužků na vrchní i spodní straně textilie. M_{ti} a M_{bi} lze spočítat podle rovnice (30) zvlášť pro každý pár kroužků.

1.6.5.4. Výstupní charakteristiky přístroje

Doba smočení povrchu textilie [s]: doba, která se měří od začátku měření do doby, než křivka U_t (U_b) začne stoupat pod úhlem 15 a více stupňů.

Maximální rychlost absorpce vlhkosti [%/s]: MAR_t (MAR_b), tato veličina je popsána v kapitole Princip měření.

Maximální smočený rádius [mm]: MWR_t a MWR_b jsou průměry kruhů, které kapalina smočila.

Rychlost radiálního šíření kapaliny [mm/s]: Rychlost šíření je definována jako kumulativní rychlost šíření roztoku tkaninou od středu po největší rádius navlhčení. Předpokládejme, že kruh i ($i=1; 2; 3; 4; 5; 6$) se navlhčí v čase t_i , tudíž rychlost šíření kapaliny tkaninou (S_i) v kruhu $i-1$ je [4]:

$$S_i = \frac{\Delta R_i}{\Delta t_i} = \frac{R}{t_i - t_{i-1}} \quad (33)$$

kde konstanta R je poloměr kruhu. Potom kumulativní rychlost šíření (SS) je [4]:

$$SS = \sum_{i=1}^N S_i = \sum_{i=1}^N \frac{R}{t_i - t_{i-1}} \quad (34)$$

kde N je číslo maximálně navlhčeného kruhu.

Schopnost přenosu vlhkosti jedním směrem z vnitřku strany textilie na vnější (z rubu na líc) OWTC [-]: Rozdíl mezi obsahem vlhkosti v textilií mezi rubem a lícem textilie lomený časem (celkový čas testování, nejčastěji 120 s) [4].

$$OWTC = \frac{\int U_b - \int U_t}{T} [-] \quad (35)$$

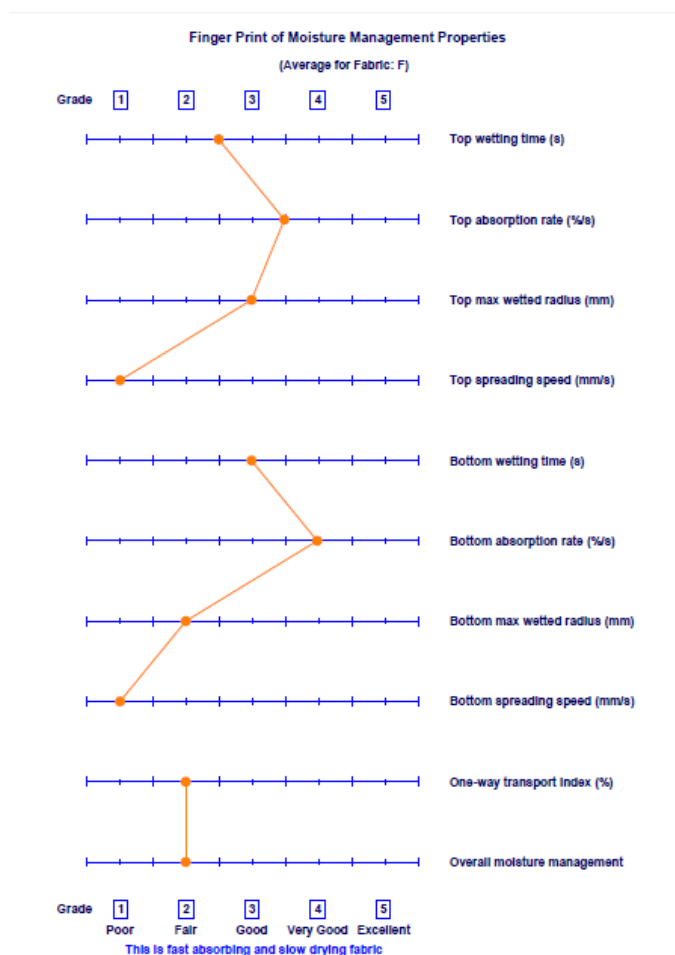
Celková schopnost odvádět vlhkost [-]: Souhrnný index vypočítaný na základě dílčích charakteristik [4].

$$OMMC = C_1 MAR_b + C_2 OWTC + C_3 SS_b \quad (36)$$

kde C_1 , C_2 a C_3 jsou váhy indexů maximální rychlosti absorpce vlhkosti textilií (MAR_b), schopnosti přenosu vlhkosti jedním směrem ($OWTC$) a rychlosti radiálního šíření kapaliny (SS_b).

1.6.5.5. Hodnocení dle MMT

Software dodávaný k přístroji MMT automaticky vyhodnocuje, jak je textilie schopna rozvádět vlhkost. Na konci měření se automaticky vygeneruje obrázek, který uživateli souhrnně řekne, jaký je management vlhkosti na dané textilií i jaké jsou dílčí výsledky.



Obr. 13: Souhrnné vlastnosti testované textilie

1.6.5.5.1. Hodnocení textilií dle MMT

Typy jednotlivých textilií se vyhodnocují dle MMT podle následující tabulky:

Tabulka 2: Hodnocení textilií dle MMT

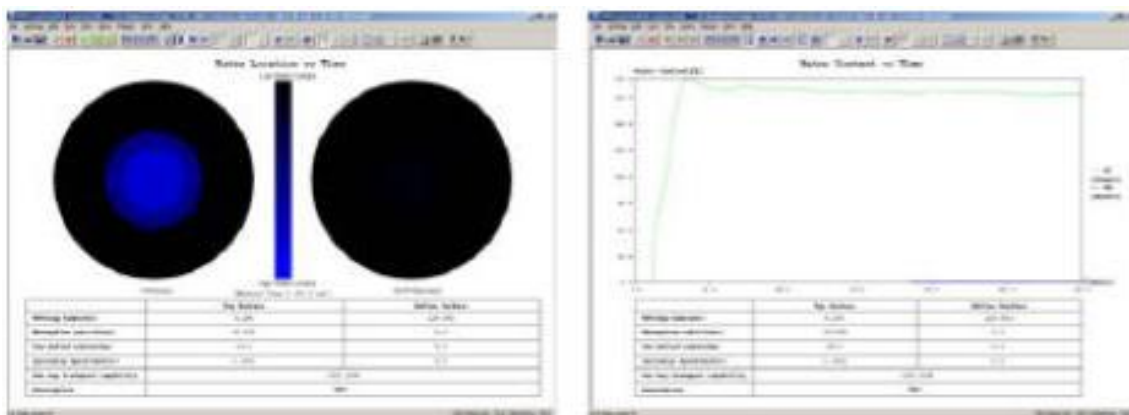
		Stupeň				
		1	2	3	4	5
Doba navlhčení [s]	Horní strana	≥ 120	< 20; 119 >	< 5; 19 >	< 3; 5 >	< 3
		Žádné navlhčení	Pomalé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
	Spodní strana	≥ 120	< 20; 119 >	< 5; 19 >	< 3; 5 >	< 3
		Žádné navlhčení	Pomalé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
Savost [%/s]	Horní strana	< 0; 10 >	< 10 - 30 >	< 30; 50 >	< 50; 100 >	> 100
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
	Spodní strana	< 0; 10 >	< 10 - 30 >	< 30; 50 >	< 50; 100 >	> 100
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
Maximální rádius navlhčení [mm]	Horní strana	< 0; 7 >	< 7; 12 >	< 12; 17 >	< 17; 22 >	> 22
		Žádný	Malé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
	Spodní strana	< 0; 7 >	< 7; 12 >	< 12; 17 >	< 17; 22 >	> 22
		Žádný	Malé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
Rychlost šíření kapaliny [mm/s]	Horní strana	< 0; 1 >	< 1; 2 >	< 2; 3 >	< 3; 4 >	> 4
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
	Spodní strana	< 0; 1 >	< 1; 2 >	< 2; 3 >	< 3; 4 >	> 4
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		≤ 50	< 50; 100 >	< 100; 200>	< 200; 400 >	> 400
		Velmi slabá	Slabá	Dobrá	Velmi dobrá	Výborná
OMMC		< 0; 0,2 >	< 0,2; 0,4 >	< 0,4; 0,6>	< 0,6; 0,8>	> 0,8
		Velmi slabá	Slabá	Dobrá	Velmi dobrá	Výborná

1.6.5.5.2. Typy textilií dle MMT

Přístroj MMT rozlišuje sedm hlavních typu textilií z hlediska rychlosti absorpce roztoku, šíření roztoku a určuje, zda dochází k jednosměrnému přenosu kapaliny, či nikoli [6].

1. Voděodolné textilie:

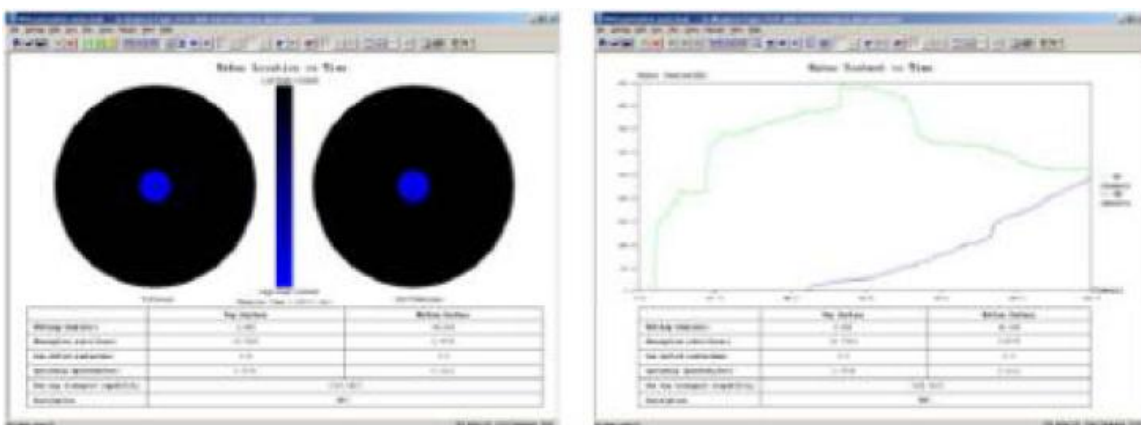
- velmi pomalá absorpce roztoku;
- velmi pomalé šíření kapaliny textilií;
- nedochází k jednosměrnému přenosu ani k penetraci.



Obr. 14: Voděodolné textilie [4]

2. Vodu odpuzující textilie:

- nedochází k navlhčení textilie;
- nedochází k absorpci;
- nedochází k šíření roztoku textilií;
- slabý jednosměrný přenos.

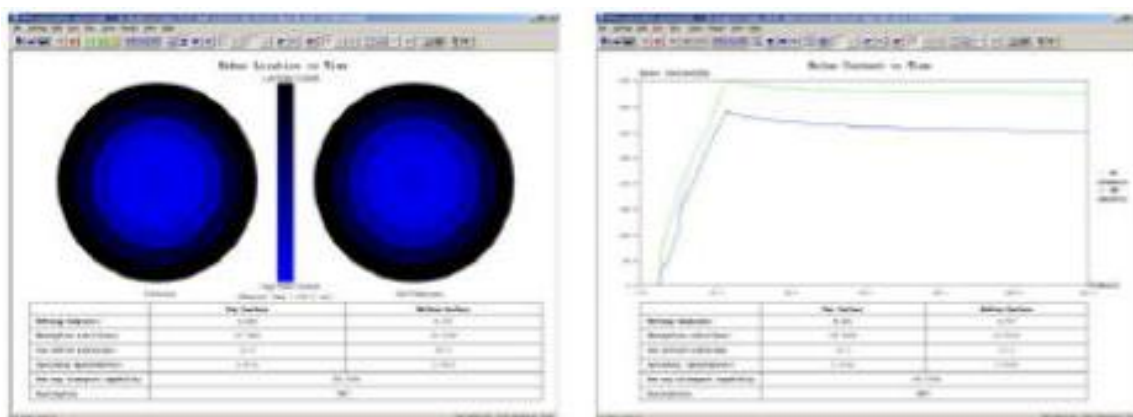


Obr. 15: Vodu odpuzující textilie [4]

3. Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie:

- pomalá absorpce;

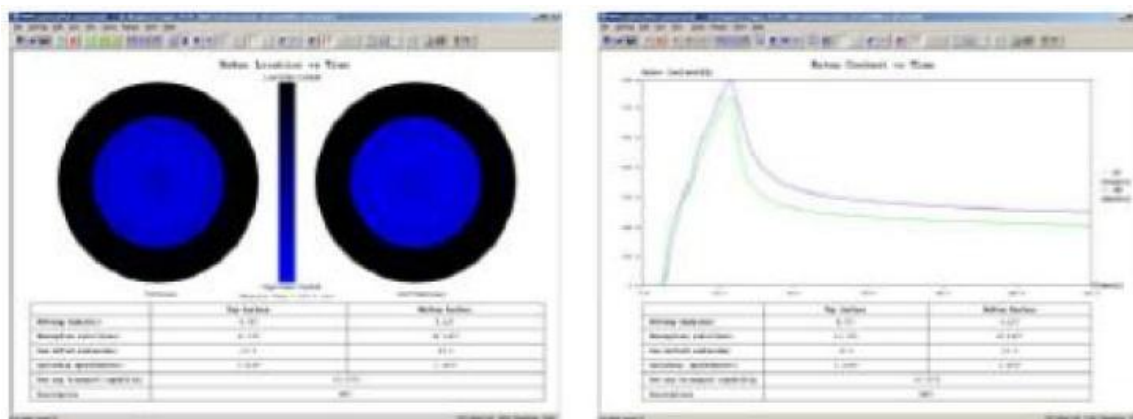
- pomalé šíření roztoku textilií;
- slabý jednosměrný přenos.



Obr. 16: Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie [4]

4. Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie:

- střední až rychlé smočení textilie;
- střední až rychlá absorpce;
- malá oblast šíření kapaliny;
- slabý jednosměrný přenos.

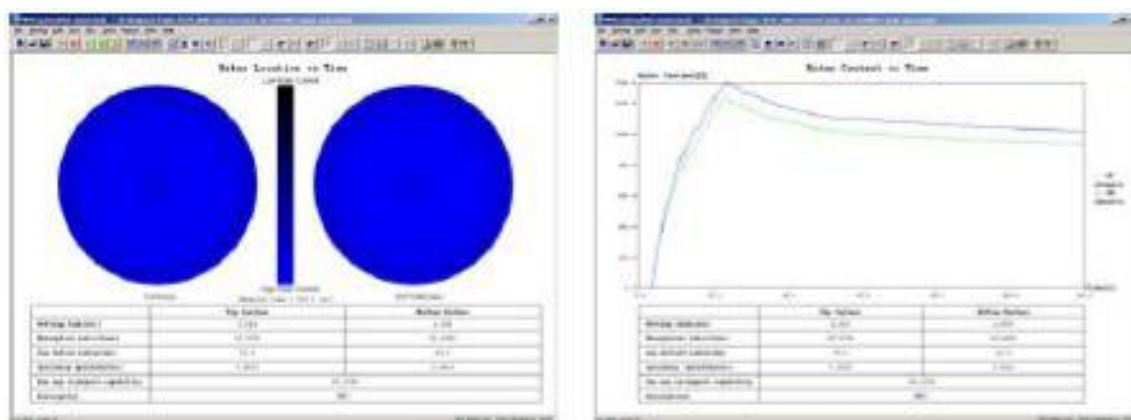


Obr. 17: Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie [4]

5. Rychle absorbující a rychle schnoucí textilie:

- střední až rychlé smočení textilie;
- střední až rychlá absorpce;

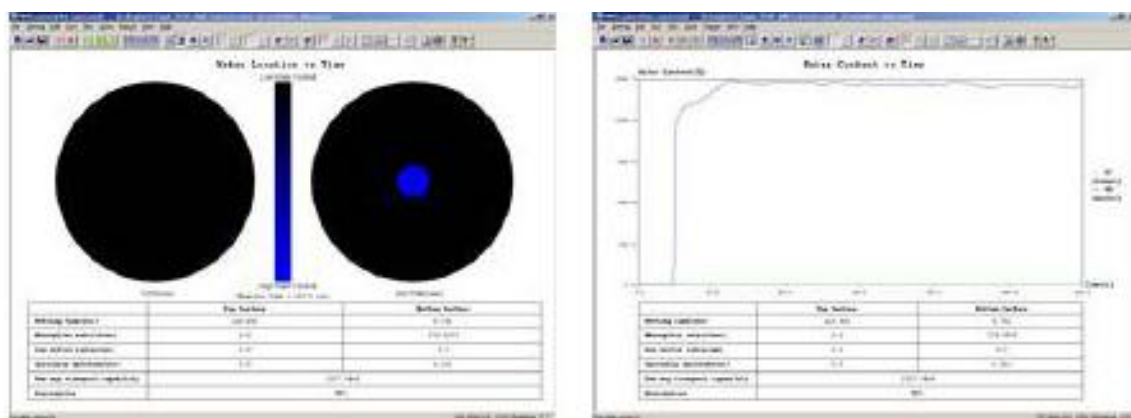
- velká oblast šíření kapaliny;
- rychlé šíření roztoku textilií;
- slabý jednosměrný přenos.



Obr. 18: Rychle absorbující a rychle schnoucí textilie [4]

6. Vodu propustné textilie:

- malá oblast šíření roztoku textilií;
- výborný jednosměrný přenos roztoku.



Obr. 19: Vodu propustné textilie [4]

7. Textilie s managementem vlhkosti:

- střední až rychlé smočení textilie;
- střední až rychlá absorpce;
- velká oblast šíření kapaliny na spodní straně textilie;
- rychlé šíření roztoku na spodní straně textilie;
- dobrý až výborný jednosměrný přenos.

2. Experimentální část

2.1. Materiál

Testovaný materiál je směs polyesteru a Lycry v poměru 94/6%. Jde o oboulící pleteninu, nebo také žebro 1:1. Jemnost použité příze je 16,5 tex v případě polyesteru a 44 dtex u Lycry.

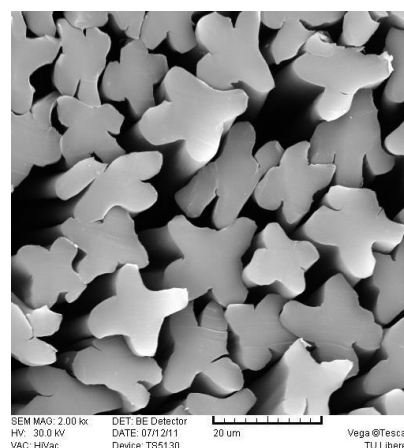
Vzorky se liší použitými vlákny. Byla také měřena plošná hmotnost kvůli ověření údajů, které udává výrobce.

Tabulka 3: Hmotnost vzorků

Materiál	Plošná hmotnost [g m^{-2}]
Coolmax	$194 \pm 7\%$
Coolplus	$196 \pm 7\%$

2.1.1. Coolplus

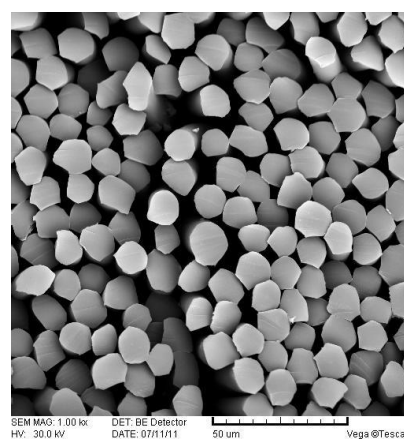
Polyesterová vlákna Coolplus jsou obdobou materiálu Coolmax. Díky speciálnímu tvaru odvádějí tato vlákna výborně pot. Také téměř nenasávají vlhkost a zůstávají téměř suchá. Materiál je velice pružný, lehký a vzdušný a dopravá tělu ideální cirkulaci vzduchu, která výrazně snižuje přehřívání organismu. Je proto ideální především do letního počasí nebo pro indoorové oblečení.



Obr. 21: Coolplus

2.1.2. Standard

Standardní polyesterová vlákna jsou kruhového průřezu, bez povrchových rýh. Textilie z těchto vláken jsou použita jako referenční vzorek pro porovnání se vzorky obsahující Coolplus vlákna.



Obr. 22: Standard

V následující tabulce jsou popsány parametry použitých vzorků.

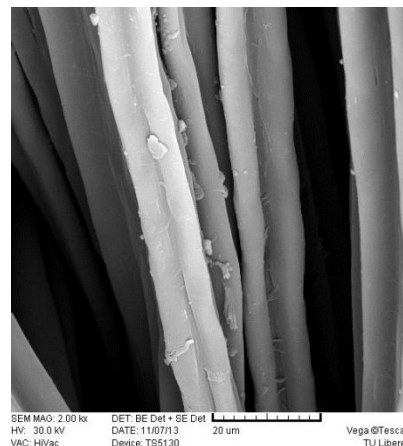
Tabulka 4: Parametry vláken, přízí a pleteniny použitých vzorků

			PES standard	spodní mez 95%	horní mez 95%	PES Coolplus	spodní mez 95%	horní mez 95%
útvár	veličina	jednotka	průměr	IS	IS	průměr	IS	IS
příze	jemnost výrobce	[tex]	16,5			16,5		
příze	jemnost měřená	[tex]	16,12	15,94	16,30	16,21	16,03	16,39
příze	zákrut	[m ⁻¹]	725	708	742	715	697	733
příze	zákrutový koeficient	[m ⁻¹ ktex ^{2/3}]	46,99			46,34		
příze	počet vláken v průřezu výrobce	-	104			85		
vlákno	jemnost vláken	-	0,1550			0,1907		
vlákno	ekvivalentní průměr vlákna	[μm]	88,81			91,34		
vlákno	obvod vlákna	[μm]	288,28			349,79		
vlákno	kruhovitost	-	0,939			0,677		
vlákno	ovalita	-	1,032			1,215		
vlákno	tvárový faktor Malinowská	-	0,032			0,215		
vlákno	hustota	[m ³ /kg]	1360			1360		
vlákno	měrný povrch	[m ² /kg]	251,96			267,52		
příze	pevnost	[cN]	545	533,1	556,9	331,4	322,5	340,3
příze	poměrná pevnost	[cN/tex]	33,808933			20,44417		
příze	tažnost	[%]	13,04	12,8	13,28	10,23	10	10,46
příze	CV	[%]	12,12			14,99		
pletenina	plošná hmotnost	[g/m ²]	192	185	199	196	189	203
pletenina	hustota sloupků/hustota řádků	[Hs(Hř)/m]	1340/1800			1300/1620		
pletenina	hustota pleteniny	[kg/m ³]	265,927978			236,71498		

2.2. Úprava vzorků

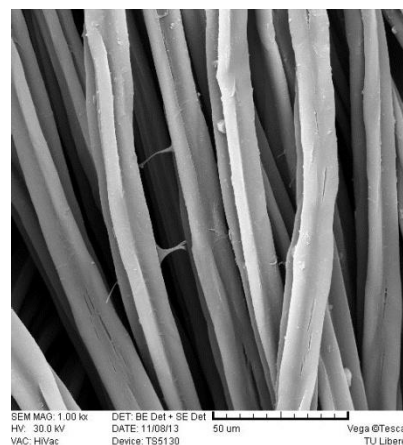
Všechny vzorky byly zkoumány po různých typech předúpravy (ovlivňující především stupeň čistoty povrchu).

Neprané – tyto vzorky nebyly nijak prané ani upravované, pouze byly 24 hodin klimatizovány. Na vláknech tohoto vzorku jsou patrné nečistoty, tj. zejména zbytky lubrikace. Na některých, zde neuvedených obrázcích lze pozorovat zvláštní druh nečistoty. Tyto nečistoty jsou přítomny ve všech třech stupních čištění, tj. jde zřejmě o povrchové vady z výroby vláken.



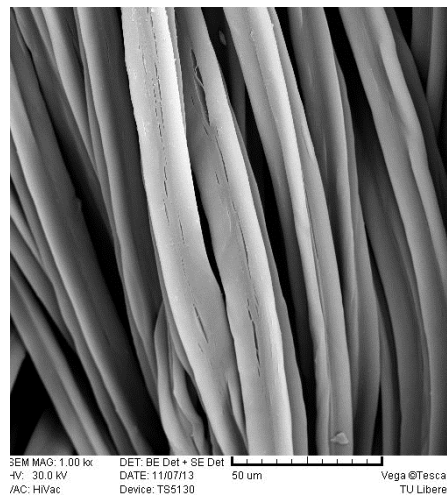
Obr. 23: Coolplus nepraný [12]

Prané při intenzifikaci ultrazvukem – praní vzorků proběhlo v ultrazvukové lázni (sonifikace), tím bylo zajištěno odstranění volně vázaných nečistot na povrchu pleteniny i na povrchu jednotlivých vláken, poté byly 24 hodin klimatizovány. Na těchto vzorcích je již méně nečistot, také hodnoty z metodiky pomocí obrazové analýzy vycházejí jiné.



Obr. 24: Coolplus sonic [12]

Extrahované – vzorky byly vloženy do Soxhletova extraktoru a vyprány v 10 cyklech ve vroucím chloroformu. Praní v Soxhletově extraktoru je ze všech tří metod nejúčinnější. Vroucí chloroform odstranil i odstín textilie. Poté byly vzorky 24 hodin klimatizovány. Na vláknech nezbyly žádné, anebo velmi málo nečistot. Praskliny patrné na vláknech pravděpodobně nevznikly v důsledku extrahování.



Obr. 25: Coolplus Soxhlet [12]

2.3. Příprava vzorků

Po celou dobu přípravy měření a při vlastním měření je nutné držet vzorky z různých vláken přísně odděleně, protože se od sebe dají rozeznat pouze pod elektronovým mikroskopem. Byly připraveny vzorky o rozměrech 90x90 milimetrů.

Vzorky byly nejprve upraveny v ultrazvukové čističce. Ultrazvukové čištění je velice rychlý a efektivní způsob odstraňování organických i neorganických volně vázaných nečistot z povrchů. Při provozu ultrazvukového zdroje vzniká jev zvaný kavitace, při kterém se v čistícím médiu vytváří miliony mikroskopických bublinek, které vzápětí implodují, a uvolněná energie strhává nečistoty z povrchu čištěného předmětu. Čištěné předměty se ultrazvukem mechanicky nepoškozuje. Ultrazvukové čističky spolehlivě vyčistí i členité povrchy. Proces samotného čištění trvá od několika sekund do několika minut. Závisí to na míře, způsobu nebo druhu znečištění [5]. Po ultrazvukovém vyčištění byly vzorky na cca 48 hodin vloženy do klimatizační komory s teplotou $21 \pm 1^\circ\text{C}$ a relativní vlhkostí $65 \pm 2\%$.



Obr. 26: Ultrazvuková lázeň [4]

2.4. Postup měření

Před měřením se musí přístroj usadit do vodorovné polohy. K tomuto účelu je v MMT vestavěna vodováha. Usazení se provádí pomocí tří nastavitelných šroubů, na kterých přístroj stojí. K přístroji MMT patří i počítač s vhodným software.

Před samotným měřením je nutné provést testovací měření. Spočívá ve vypumpování veškerého vzduchu ze silikonové trubičky, která přivádí kapalinu na vzorek. Vypumpování vzduchu se jednoduše provede podržením tlačítka PUMP na přístroji po dobu nezbytnou k vypumpování vzduchu. Přiváděcí trubička je vyrobena ze silikonu, tím pádem je průhledná a lze tedy bezpečně určit, kdy už v ní nezbývá žádný vzduch.

Vlastní měření začíná vložením vzorku mezi soustředné kruhy. Poté se manuálně zavřou čelisti a zbytek měření se provádí už jen pomocí počítačového softwaru. Tlačítkem RUN se měření spustí. Nejdříve se po dobu 20 sekund pumpuje syntetický pot na textilií a další pozorování transportu vlhkosti textilií trvá dalších 100 sekund. Celé měření tedy trvá 2 minuty. Po skončení měření přístroj MMT upozorní uživatele, že je měření dokončeno. Software automaticky uloží data. Následně se zkoumaný vzorek z přístroje MMT vyjme a vloží se další. Před dalším měřením není třeba v softwaru nic ukládat ani nastavovat, vše se děje automaticky. Jediné, na co je třeba dát si pozor je řádné vysušení soustředných měřicích kruhů. Pokud se dostatečně nevysuší, jsou výsledky měření zkreslené (vzorek vykazuje vyšší obsah vody hned od začátku měření, tzn., že graf obsahu vody v textilii nezačíná od nuly, ale od vyšší hodnoty).

2.5. Nasákavost

V této části experimentu se zjišťovalo, kolik gramů destilované vody jsou schopny jednotlivé vzorky z různých druhů vláken schopny pojmout. Předpokladem je, že pleteniny, které mají členitý povrch, pojmu mnohem více kapaliny, než vzorky, jejichž vlákna mají přibližně kruhový průřez. Tedy vzorek z vláken Coolplus obecně pojme více kapaliny, než vzorek s kruhovými vlákny.

Před samotným měřením byly vzorky po dobu cca 24 hodin klimatizovány v klimatizační komoře při teplotě $21 \pm 1^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $65 \pm 2\%$.

Vzorky byly zváženy za sucha a naměřenou hmotnost zapsána to tabulky. Zároveň byla spočítána hmotnost v gramech na metr čtverečný. Tato hmotnost byla vyjádřena pouze kvůli ověření hmotnosti, kterou udává výrobce.

Tabulka 5: Hmotnost za sucha

HMOTNOST ZA SUCHA		
Pletenina	Standard	Coolplus
Rozměr [mm]	90 x 90	90 x 90
hmotnost M_s [g]	1,7091	1,8382
Plošná hmotnost naměřená [g/m^2]	211	227
Plošná hmotnost výrobce [g/m^2]	192	196

Z těchto dat je zřejmé, že průměrná hmotnost se vejde do intervalu, který udává výrobce ($\pm 7\%$).

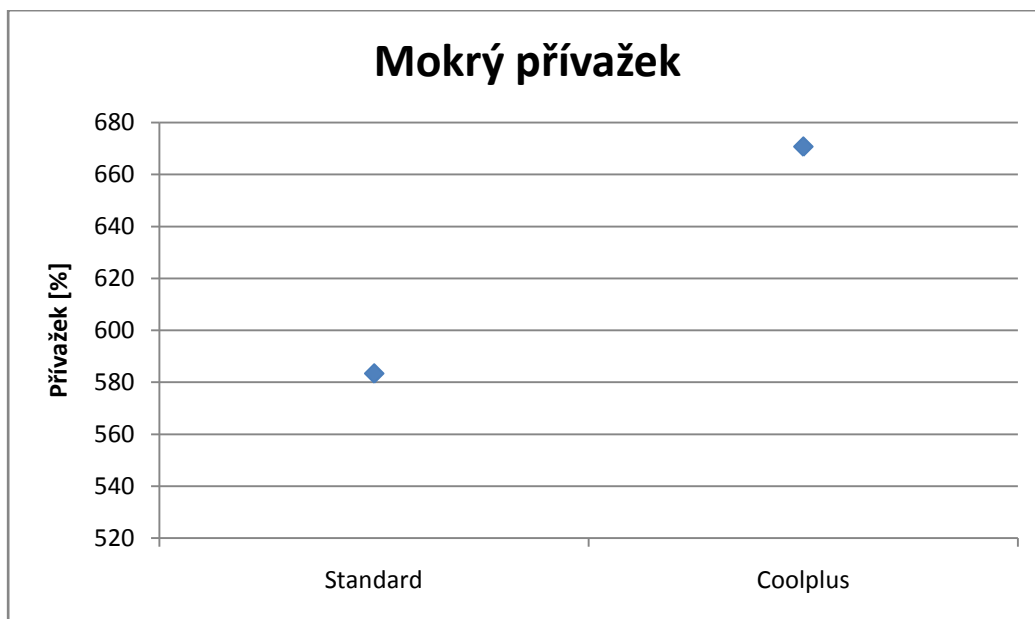
Poté byly vzorky vloženy do kádinky s destilovanou vodou přibližně na minutu a důkladně v ní vymáhány tak, aby byly dokonale mokré. Poté byly vyjmuty z lázně a vždy stejným způsobem nechány tak, aby odtekla přebytečná kapalina. Okapání vzorků bylo vždy provedeno v horizontální poloze po dobu 10 vteřin. Po tomto úkonu byly znovu zváženy a výsledky zapsané do tabulky. V dolní části obou tabulek byl spočítán aritmetický průměr hmotnosti.

Tabulka 6: Hmotnost za mokra

HMOTNOST ZA MOKRA		
Pletenina	Standard	Coolplus
Rozměr [mm]	90 x 90	90 x 90
Průměr M_m [g]	6,8343	7,7074

Z těchto hodnot je možné vypočítat mokrý přívažek, který je vyjádřen vztahem:

$$P [\%] = \frac{M_m - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (37)$$



Obrázek 27: Mokrý přivažek

Podle očekávání je materiál Coolplus schopen pojmout velké množství kapaliny. To z toho důvodu, že profilovaná vlákna mají větší měrný povrch, než kruhová. Materiál Standard nedopadl podle očekávání. Následující tabulka udává přesné množství kapaliny, které lze pojmout jedním gramem materiálu.

Tabulka 7: Schopnost materiálu pojmout kapalinu

Materiál	Přivažek [%]
Standard	583,43
Coolplus	670,74

2.6. Metodika s využitím obrazové analýzy

Vzorky o rozměrech 80x80 mm byly vloženy do rámečku na síťovinu. Poté na ně bylo pomocí kapátka nakapáno 0,2 mililitru destilované vody. Po dobu 140 sekund byly obrysy rozpíjející se kapky pozorovány a každé dvě vteřiny vyfotografovány. Takto byly získány sekvence obrázků, které byly zpracovány pomocí programu v Matlabu. Byl zjišťován obvod a plocha kapky z každé fotografie, tzn. za každé 2 vteřiny. Tímto byla získána data o tvaru a velikosti rozpíjející se kapky.

2.6.1. Tvorba software

Skript, který byl použit v Matlabu měl za úkol změřit obvod a obsah rozpíjející se kapky. Tento skript navrhnul doc. Ing. Maroš Tunák, PhD. Později byl doplněn o příkazy, které mají za úkol najít těžiště kapky. Toto těžiště se hledá pouze na prvním obrázku a na ostatní je nakopírováno. Tím je zajištěno, že je těžiště stále na stejném místě. Od těžiště se měří vzdálenosti k okraji kapky. Tyto vzdálenosti jsou odstupňovány po deseti stupních. Takto se získaly hodnoty, díky kterým lze určit jaký má kapka tvar v každém čase. Doplnění skriptu provedl Ing. Michal Rott. Všechny hodnoty z Matlabu byly v pixelech. Proto bylo nutné všechny hodnoty transformovat na milimetry, příp. milimetry čtverečné. Celý skript je uveden v tab. 8:

Tabulka 8: Skript v Matlabu

clear all; clc; close all	
I=imread('10.jpg');	načte obrázek
I=rgb2gray(I);	převéde obrázek do šedé stupnice
I=I(1:430,:);	určí řádky, které se budou zkoumat
name3='.jpg';	
cit=2;	určí, jaký obrázek se zpracovává
DATA=[];	zapiše výsledky do tabulky
x=0;	inicializace souřadnic
y=0;	inicializace souřadnic
angle=10;	určí úhel, který se bude prohlížet
angle=-2*angle/360;	
directionsKar=[800000000,0,800000000,0];	inicializace maxim a minim
directions=zeros(abs(floor(2/angle)),2);	určí počet směrů napočítaných přes úhel
DATA2=[];	zapiše výsledky do tabulky
for j=13:85	
directions=zeros(abs(floor(2/angle)),2);	určí počet směrů napočítaných přes úhel
I1=imread([num2str(j) name3]);	načte obrázek s číslem j
I1=I1(1:430,:);	určí řádky, které se budou zkoumat
IRGB=I1;	dočasná proměnná, do které se uloží původní obrázek
Irgb1=I1;	
I1=I1(:, :, 1);	převéde obrázek do šedé stupnice
IN=double(I)-double(I1);	odečet aktuálního obrázku od prvního
IN=mat2gray(IN);	převéde obrázek do šedé stupnice
IN=imadjust(IN);	upraví jas obrázku

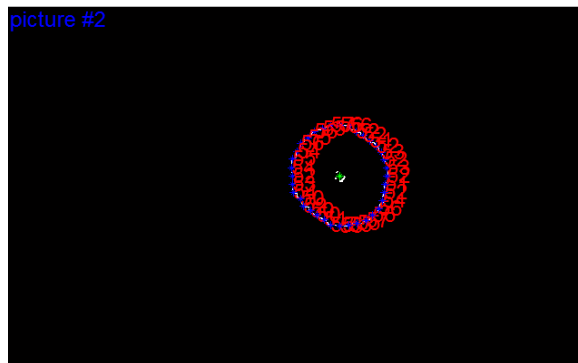
IBW=im2bw(IN,graythresh(IN)-0.05);	nastaví hodnotu prahování
IBW1=bwareaopen(IBW,150);	otevření
IBW2=imfill(IBW1,'holes');	zaplní díry
IBW2=imclose(IBW2,ones(5));	uzavření
L=bwlabel(IBW2);	najde souvislé oblasti
STATS=regionprops(L,'All');	statistika oblasti
if(x==0)	
x=round(STATS.Centroid(1));	najde těžiště horizontální
y=round(STATS.Centroid(2));	najde těžiště vertikální
end	
DATA=[DATA; cit j STATS.Area round(STATS.Perimeter)];	
Ie=imerode(IBW2,ones(3));	eroze a nalezení okraje kapky
Io=IBW2-Ie;	
threshold=200;	prahování
red=Irgb1(:,1)>threshold;	prahování
s=size(red);	
for i=y:-1:1	určí polohu 90°
if(red(i,x)==1)	
directionsKar(1)=i;	
end	
end	
for i=y:s(1)	určí polohu 180°
if(red(i,x)==1)	
directionsKar(2)=i;	
end	
end	
for i=x:-1:1	určí polohu 270°
if(red(y,i)==1)	
directionsKar(3)=i;	
end	
end	
for i=x:s(2)	určí polohu 360°
if(red(y,i)==1)	
directionsKar(4)=i;	
end	
end	
col=5;	zapiše výsledky do tabulky
for multi=1:abs(floor(2/angle))	určí počet směrů napočítaných přes úhel
i=x;	nastavení souřadnic na střed
j=y;	nastavení souřadnic na střed
addy=sin(pi*multi*angle);	výpočet posunu obrázku vodorovně
addx=cos(pi*multi*angle);	výpočet posunu obrázku svisle
while(i>1 && i<s(2) && j>1 && j<s(1))	

if(round(j),round(i))==1)	hledá odlišný pixel
directions(multi,1)=round(i);	uloží souřadnice odlišného pixelu
directions(multi,2)=round(j);	uloží souřadnice odlišného pixelu
end	
i=i+addx;	posunutí v daném úhlu
j=j+addy;	posunutí v daném úhlu
end	
DATA2(cit,col)=pdist([x y ; directions(multi,1) directions(multi,2)] , 'euclidean');	počítá Euklidovskou vzdálenost od těžiště po okraj
col=col+1;	
end	
DATA2(cit,1)=pdist([x y ; x directionsKar(1)] , 'euclidean');	Euklidovské vzdálenosti pro hlavní osy
DATA2(cit,2)=pdist([x y ; x directionsKar(2)] , 'euclidean');	
DATA2(cit,3)=pdist([x y ; x directionsKar(3)] , 'euclidean');	
DATA2(cit,4)=pdist([x y ; x directionsKar(4)] , 'euclidean');	
figure(1)	
imshow(red)	
hold on;	
text(5,15, strcat('picture #',int2str(cit)), 'FontSize',18,'color','blue');	vepíše do obrázku informace
plot(x,y, 'g*');	
plot(x, directionsKar(1), 'r*');	
plot(x, directionsKar(2), 'r*');	
plot(directionsKar(3),y, 'r*');	
plot(directionsKar(4),y, 'r*');	
col=5;	
for multi=1:abs(floor(2/angle))	
text(directions(multi,1),directions(multi,2),int2str(DATA2(cit,col)), 'FontSize',18,'color','red');	
plot(directions(multi,1),directions(multi,2), 'b*');	
col=col+1;	
end	
hold off;	
cit=cit+1;	
end	

Následující obrázky částečně demonstrují obrazovou analýzu v Matlabu. Obrázek č. 28 a 29 jsou obrázky, které zobrazují počáteční kapku, která byla na textilií umístěna.



Obr. 28: Skutečný obrázek v čase 2 s

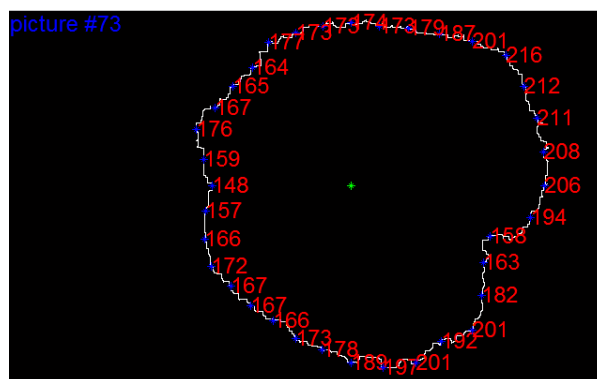


Obr. 29: Obrázek z Matlabu v čase 2 s

Obrázky č. 30 a 31 zobrazují reálnou a Matlabovskou verzi obrázku. Zelená tečka na Matlabovském obrázku značí těžiště a červená čísla s modrou tečkou zobrazují vzdálenost v pixelech okraje kapky od těžiště.

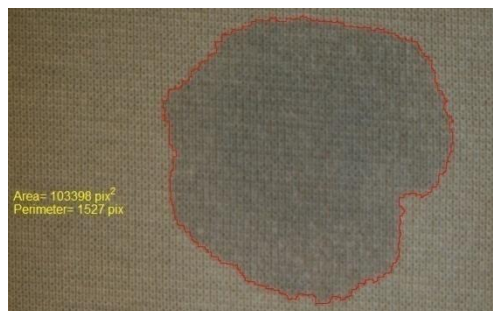


Obr. 30: Reálný obrázek v čase 120 s



Obr. 31: Obrázek z Matlabu v čase 120 s

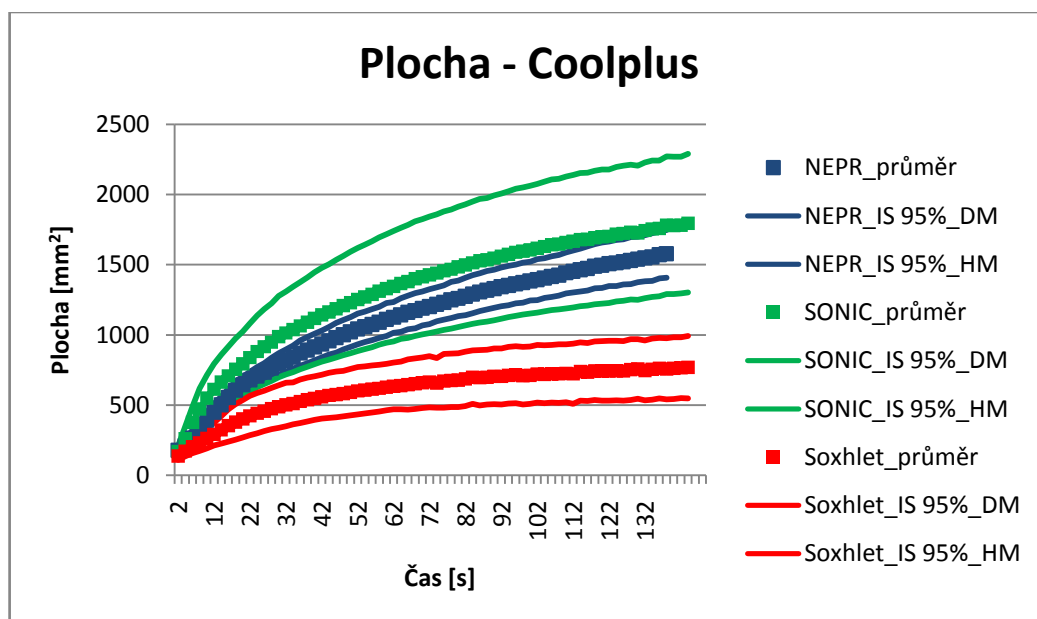
Obrázek č. 32 zobrazuje reálný obrázek s okrajem, který byl vyhodnocen Matlabem v čase 120 s.



Obr. 32: Reálný obrázek s okrajem, který byl vyhodnocen Matlabem v čase 120 s

2.6.2. Výsledky Coolplus

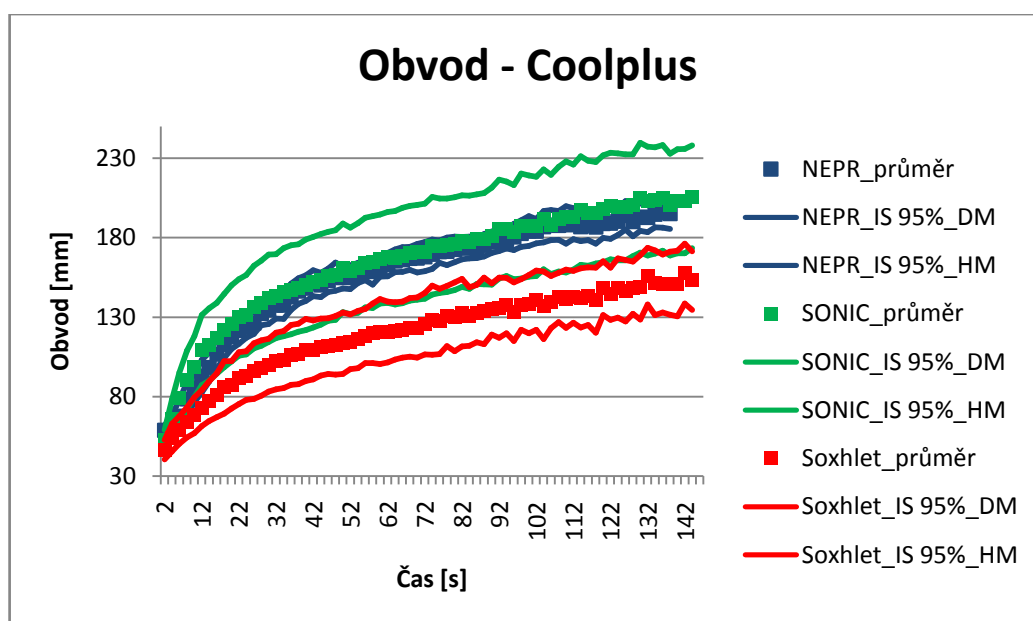
Pomocí skriptu byla zjištěna plocha ve všech třech úrovních předúpravy pleteniny z Coolplus vláken.



Obr. 33: Plocha kapky - Coolplus

Všechny plochy byly vloženy do jednoho grafu. Tlustá čára je vždy průměrná hodnota a slabé čáry udávají 5 a 95 procentní intervaly. Z grafu vyplývá, že mezi nepranou pleteninou a pleteninou pranou v ultrasonické lázni není statisticky významný rozdíl. Kapky na vzorcích upravených v Soxhletově extraktoru mají statisticky menší plochu.

Další hodnotou, která byla pomocí Matlabu vyjádřena, byl obvod.



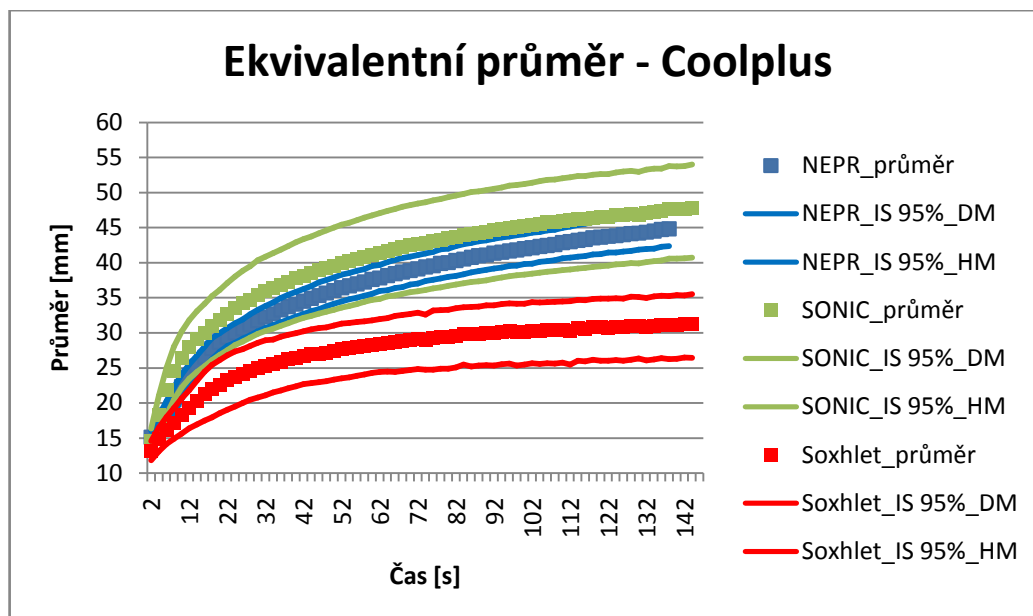
Obr. 34: Obvod kapky - Coolplus

Neprané vzorky a vzorky které byly čištěny v ultrasonické lázni, nejsou statisticky rozdílné, jejich intervaly spolehlivosti se překrývají. Naproti tomu vzorky s kapkami, které byly upraveny v Soxhletově extraktoru mají menší obvod. Je zde statisticky významný rozdíl s kapkami na nepraných vzorcích, ale se vzorky pranými v ultrasonické lázni je zde velmi malý rozdíl.

Díky známé ploše lze vyjádřit ekvivalentní průměr. Jde o průměr ekvivalentního kruhu se stejnou plochou, jaká je naměřená. Ekvivalentní průměr D_e lze vyjádřit jako:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (38)$$

kde S je naměřená plocha.



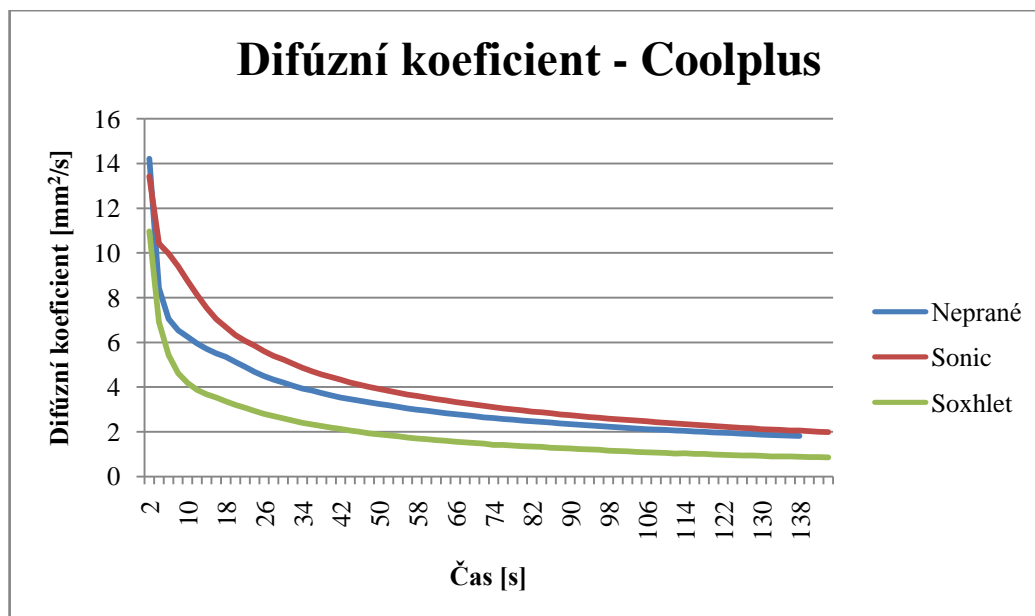
Obr. 35: Ekvivalentní průměr kapky - Coolplus

Opět platí, že kapky na pleteninách upravených v Soxhletově extraktoru jsou statisticky významně menší než při ostatních úrovních vyčištění vzorků.

Pokud je znám ekvivalentní průměr, lze vypočítat zdánlivý difúzní koeficient, který udává molekulární rychlost šíření kapaliny v ploše. Zdánlivý difúzní koeficient ve směru x lze vyjádřit rovnicí [12]:

$$D = \frac{x^2}{2t} \quad (39)$$

kde x je poloměr kružnice a t je čas.



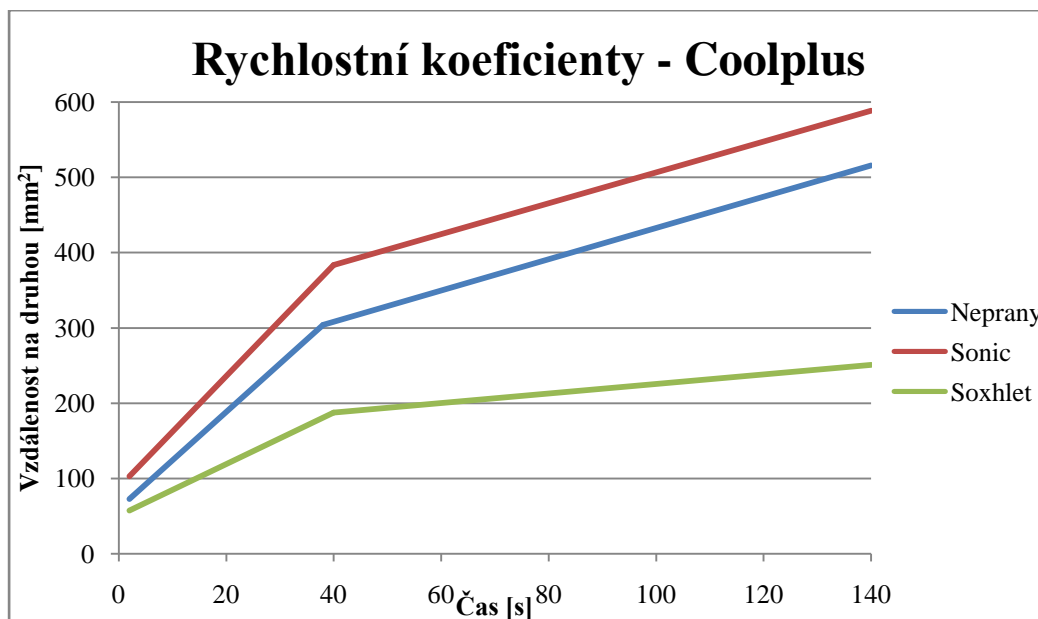
Obr. 36: Zdánlivý difúzní koeficient - Coolplus

Z grafu je patrné, že kapky na vzorcích vypraných v ultrazvukové lázni se šíří nejrychleji. Kapky na pleteninách upravených v Soxhletově extraktoru se šíří nejpomaleji, což odpovídá i průměru a obvodu kapek.

Protože difúzní koeficient lze přesně použít jen na systémy, které jsou dokonale smáčeny, nahradili jsme ho rychlostním koeficientem K , tedy závislostí

$$r = K\sqrt{t} \quad (40)$$

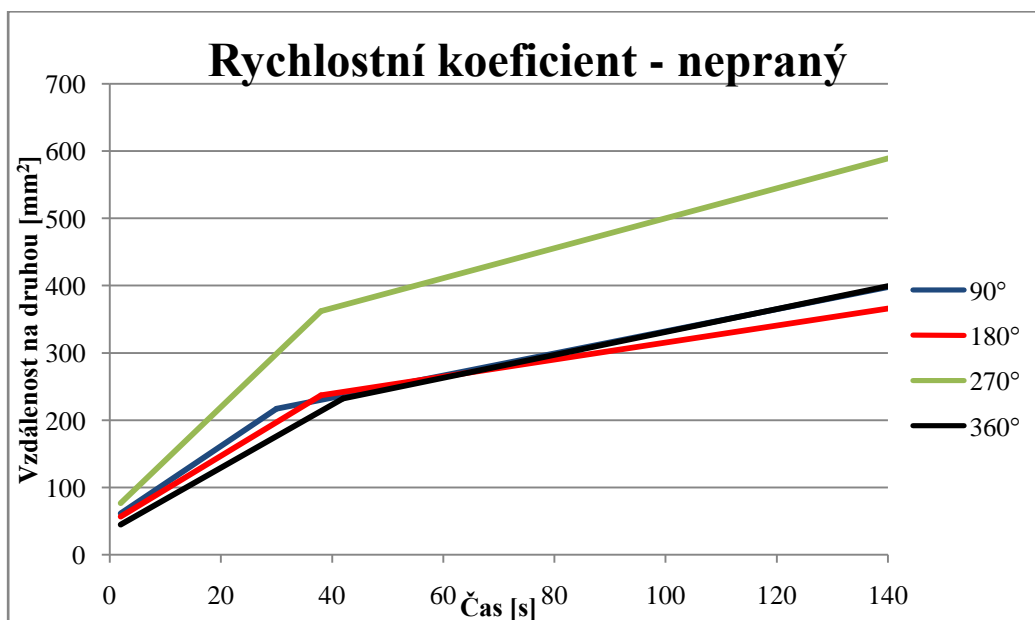
Pomocí skriptu vytvořeného v Matlabu je možné křivku čtverec poloměru kapky r^2 na čase t nahradit dvěma přímkovými úseky (tedy pomocí dvou rychlostních koeficientů).



Obr. 37: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 na čase pro Coolplus

Tento graf ukazuje rychlostní koeficienty na vzorcích z Coolplus vláken a v různých typech předúpravy.

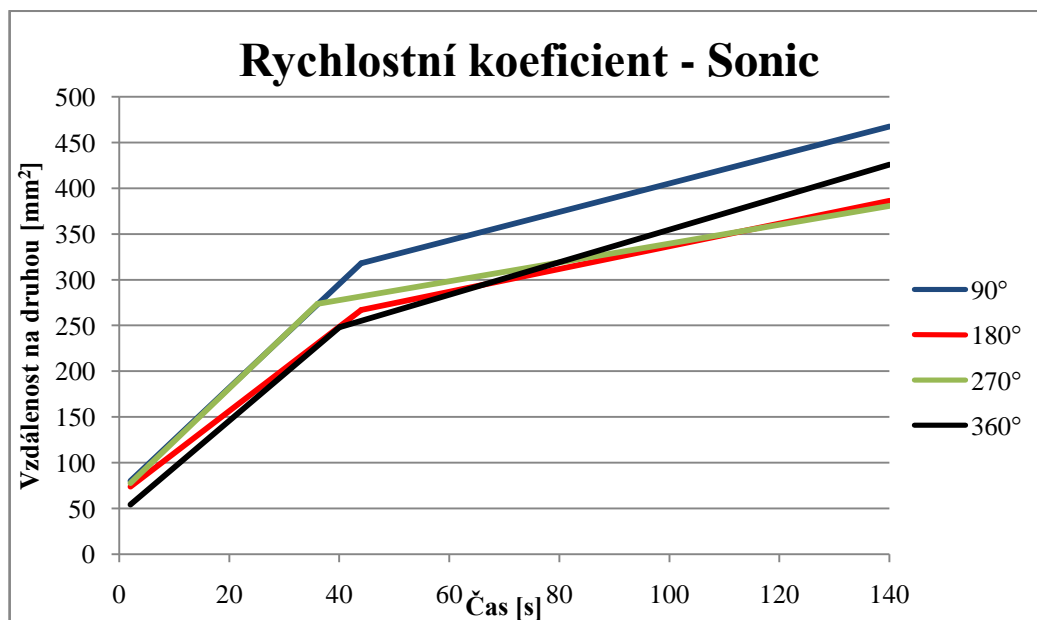
Na dalších grafech jsou vyneseny závislosti čtverce poloměru kapky r^2 na čase (směrnice jsou rychlostní koeficienty) v čase na jednotlivých úhlech.



Obr. 38: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 v různých směrech na čase – nepraný, Coolplus

Na tomto grafu lze vidět, že kapky se nejlépe rozpíjejí ve směru 270° stupňů, přičemž 90° odpovídá šíření od středu nahoru, 180° od středu doleva, 270° od středu dolů a 360° odpovídá šíření od středu doprava. První přímkový úsek stoupá rychleji, než

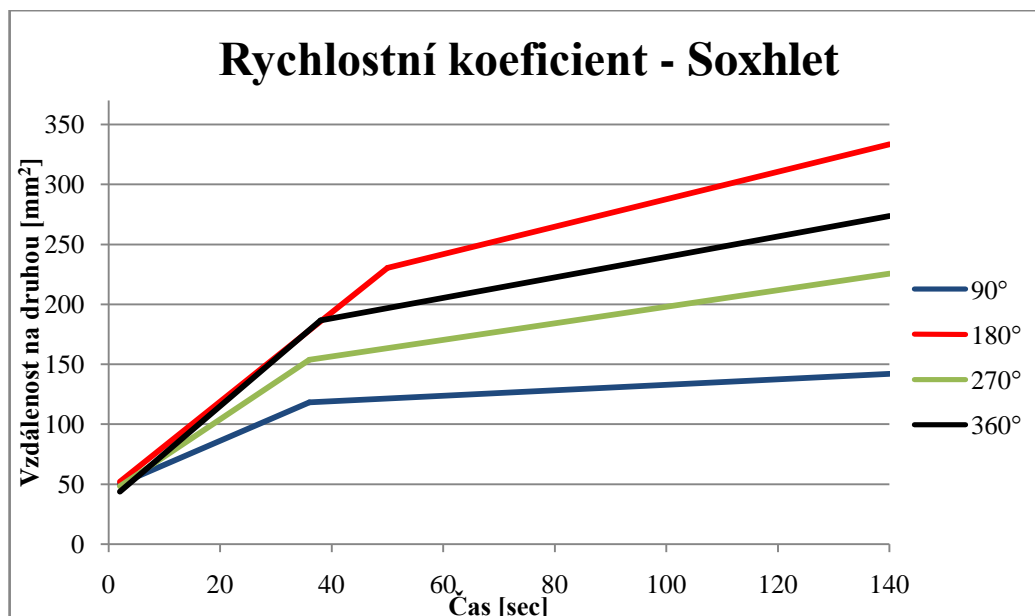
druhý. Důvodem je zřejmě to, že první část značí fázi, kdy je na textilií velké množství vody a ta se rozpíví také vlivem gravitační síly. Druhý přímkový úsek naopak reprezentuje část rozpívání, kdy již na textilií není velký přebytek kapaliny a ta se šíří pomocí kapilárních sil.



Obr. 39: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 v různých směrech na čase – Sonic, Coolplus

Na vzorcích upravených ultrazvukovou lázní se kapky šířily do všech čtyř směrů přibližně stejně.

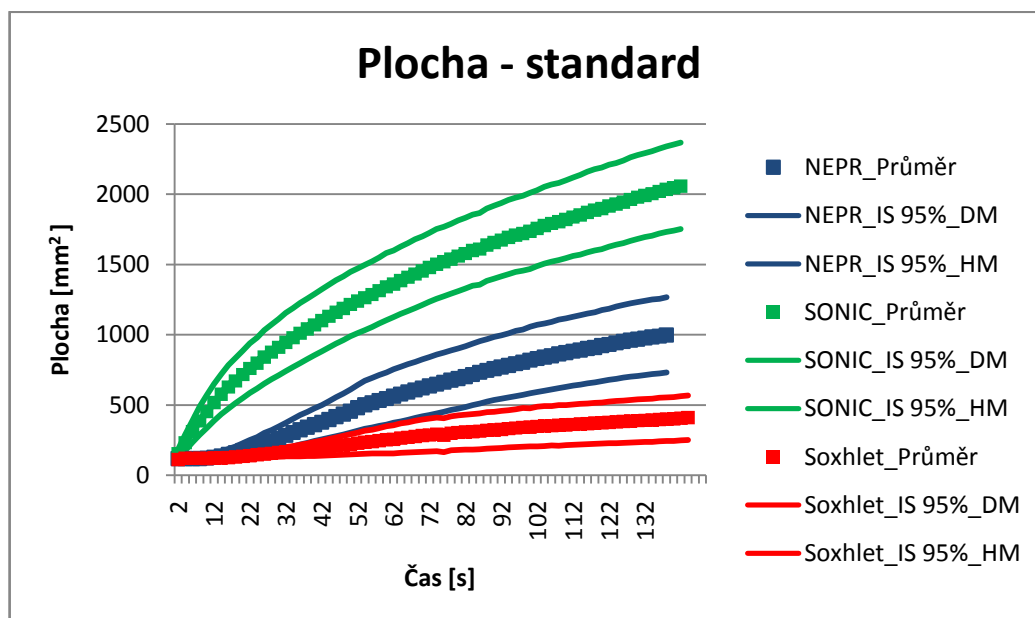
Kapky na vzorcích upravených v Soxhletově extraktoru se kapky šířily rychleji po řádcích, než po sloupcích.



Obrázek 40: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 v různých směrech na čase – Soxhlet, Coolplus

2.6.3. Výsledky pro kruhová vlákna

Vzorky z kruhových vláken byly opět zkoumány ve třech úrovních předpravy tj. neprané, prané v ultrazvukové lázni a extrahované v Soxhletově extraktoru. Nejdříve byla zjišťována plocha a obvod kapek.

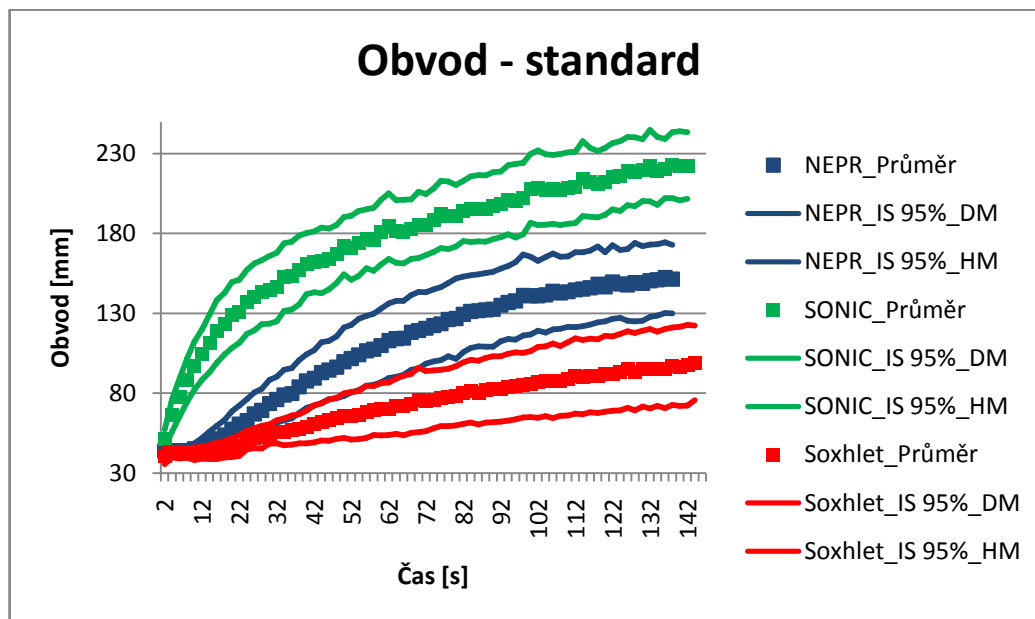


Obr. 41: Plocha kapky pro kruhová vlákna (standard)

Opět platí, že tlustá čára označuje průměr a slabé čáry značí dolní resp. horní meze 95% intervalu spolehlivosti. Z grafu je patrné, že mezi všemi třemi typy

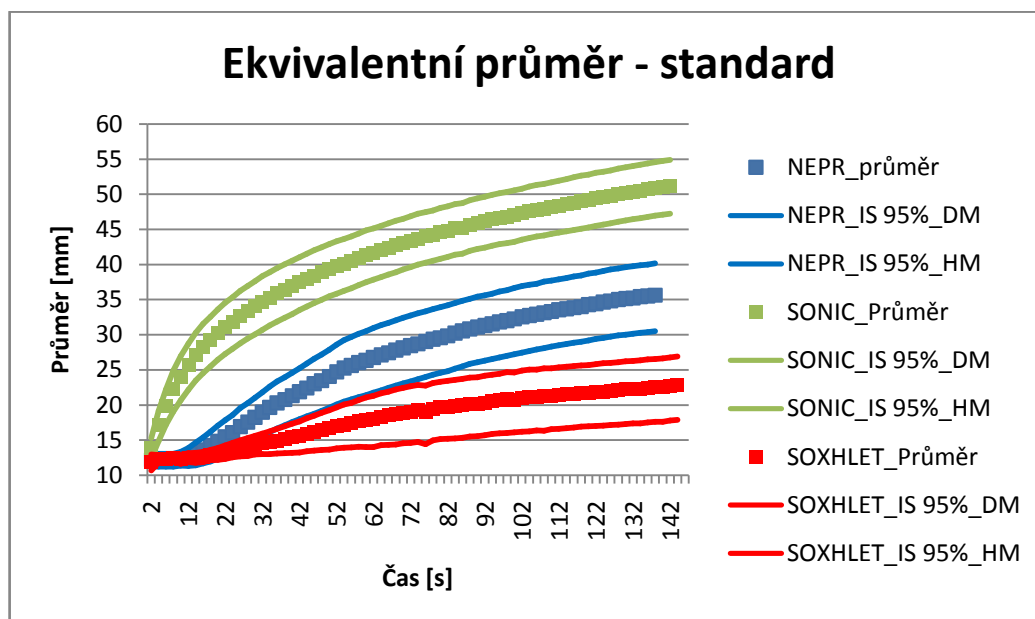
předúpravy jsou statisticky významné rozdíly. Stejně jako u vzorků z Coolplus vláken mají kapky na pletenině, která byla ošetřena v ultrazvukové lázni a největší plochu a vzorky prané v Soxhletově extraktoru nejmenší plochu.

Na obr. 44 jsou patrné statisticky významné rozdíly v obvodu kapky pro různé typy předúpravy.



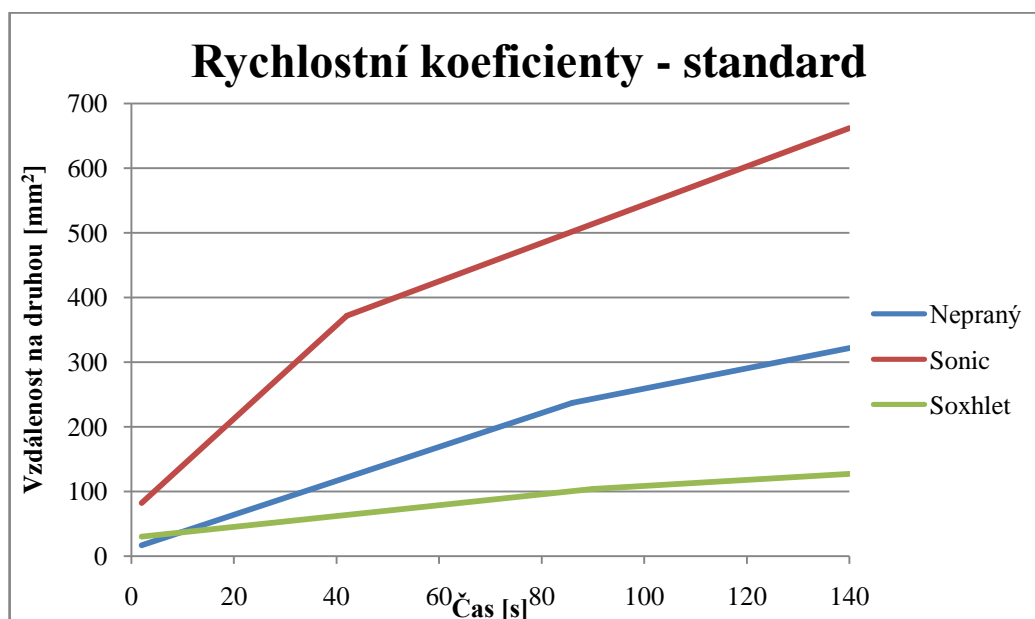
Obr. 42: Obvod kapky pro kruhová vlákna (standard)

Ekvivalentní průměr kapky lze opět vyjádřit podle rov. (38) viz obr. 43.



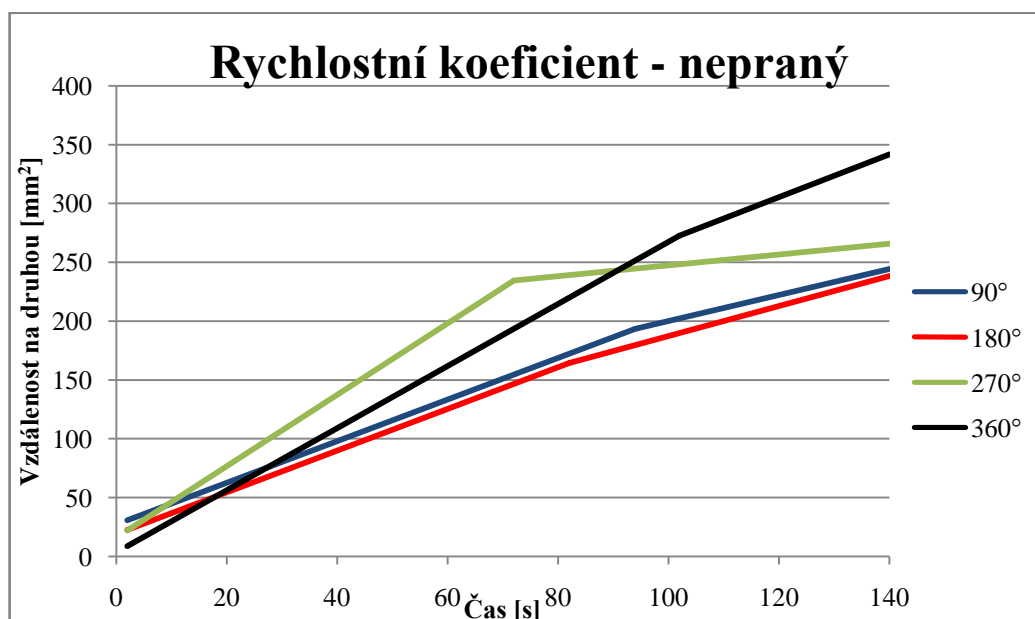
Obr. 43 Ekvivalentní průměr kapky pro kruhová vlákna (standard)

Pro vzorky z kruhových vláken (standard) byly křivky čtverec poloměru kapky r^2 na čase t nahrazeny dvěma přímkovými úseky (tedy pomocí dvou rychlostních koeficientů).



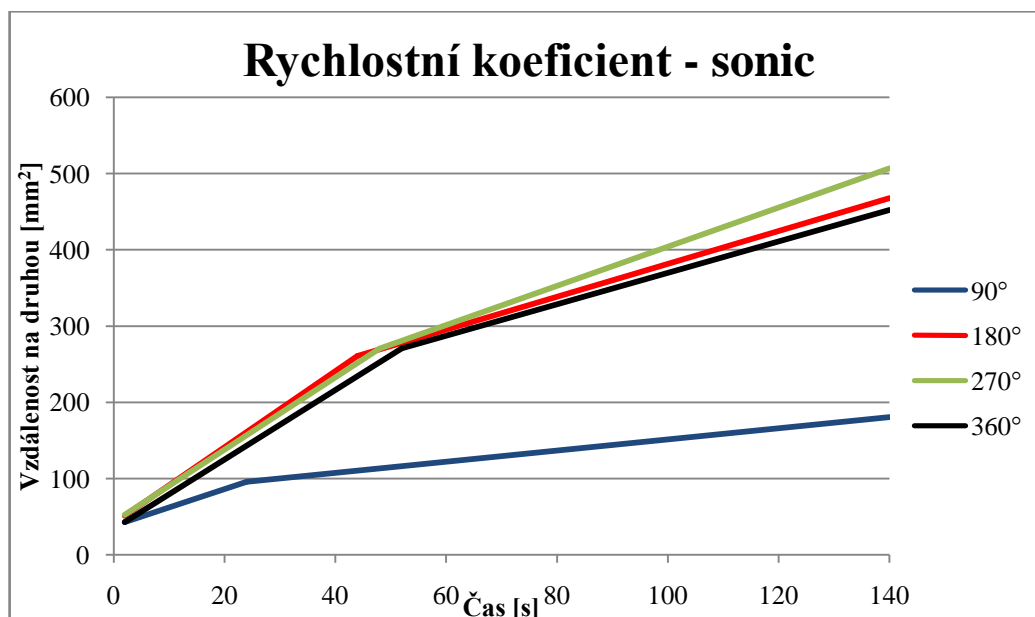
Obr. 44: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 na čase pro kruhová vlákna (standard)

Stejně jako u vzorků z Coolplus vláken byl rychlostní koeficient určen i u vzorků ze standardních vláken. U nepraných vzorků se vlhkost šířila ve všech čtyřech směrech přibližně stejně.



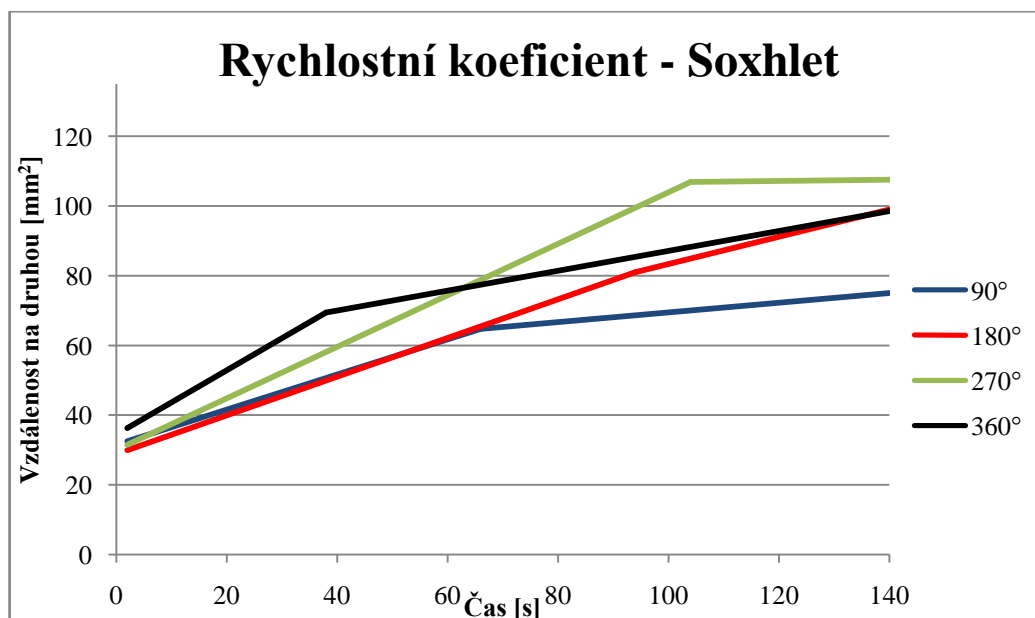
Obr. 45: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 v různých směrech na čase – kruhová vlákna (standard) nepraný

U vzorků, které byly upraveny v ultrasonické lázni, se velice liší směr 90°, tzn. od těžiště nahoru. V tomto směru se kapka příliš nešířila.



Obrázek 46: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 v různých směrech na čase – kruhová vlákna (standard) - Sonic,

Vzorky, které byly extrahovány v Soxhletově extraktoru, mají velice malý rychlostní koeficient, stejně jako u vzorků z Coolplus vláken. U vzorku ze standardních vláken se kapky šířily všemi směry přibližně stejně.



Obr. 47: Porovnání závislosti čtverce poloměru kapky r^2 v různých směrech na čase – kruhová vlákna (standard) Soxhlet

2.7. Poloměr kapky jako funkce času

Šíření kapaliny lze vyjádřit také obecným mocninným modelem:

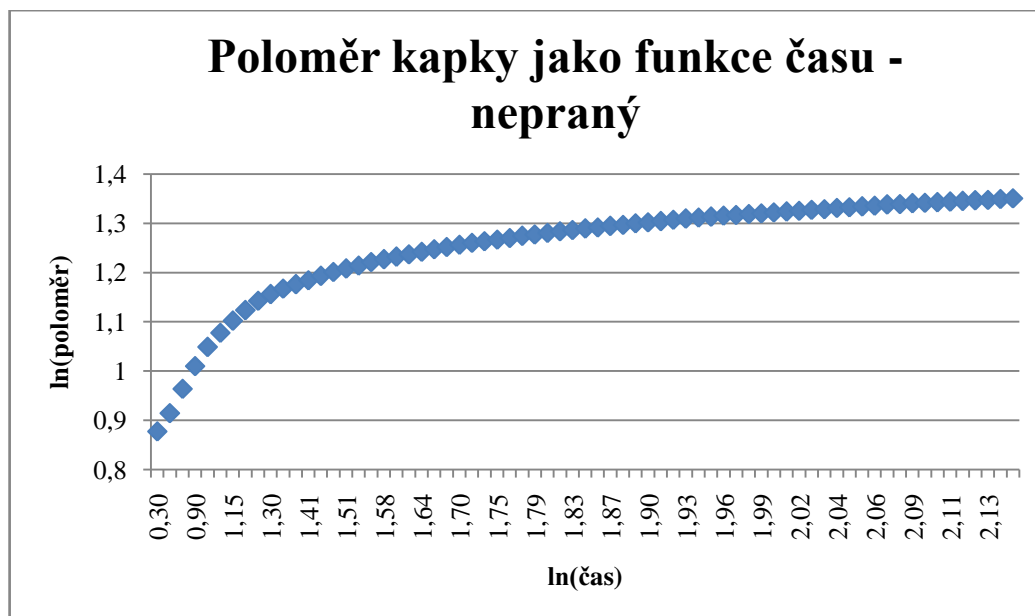
$$R(t) = R_1 \sqrt[n]{t} \quad \text{resp.} \quad \ln(R(t)) = \ln(R_1) + n \ln(t) \quad (41)$$

Zde $R(t)$ je poloměr kapky v čase t , R_1 je poloměr kapky v čase $t = 1$ (charakteristika rychlosti šíření kapky) a n souvisí s mechanismem šíření kapky (viz tab. 1). V logaritmech je tento model lineární a ze směrnice a úseku lze odhadnout parametry R_1 a n standardní metodou nejmenších čtverců. Opět se ukázalo, že závislost $\ln(R(t))$ na $\ln(t)$ lze dobře aproximovat dvěma přímkovými úseky. Ke každému přímkovému úseku byla zjištěna směrnice. První směrnice charakterizuje oblast, kdy je na vzorku dostatek kapaliny a druhá reprezentuje oblast s nedostatkem kapaliny.

2.7.1. Poloměr kapky jako funkce času - Coolplus

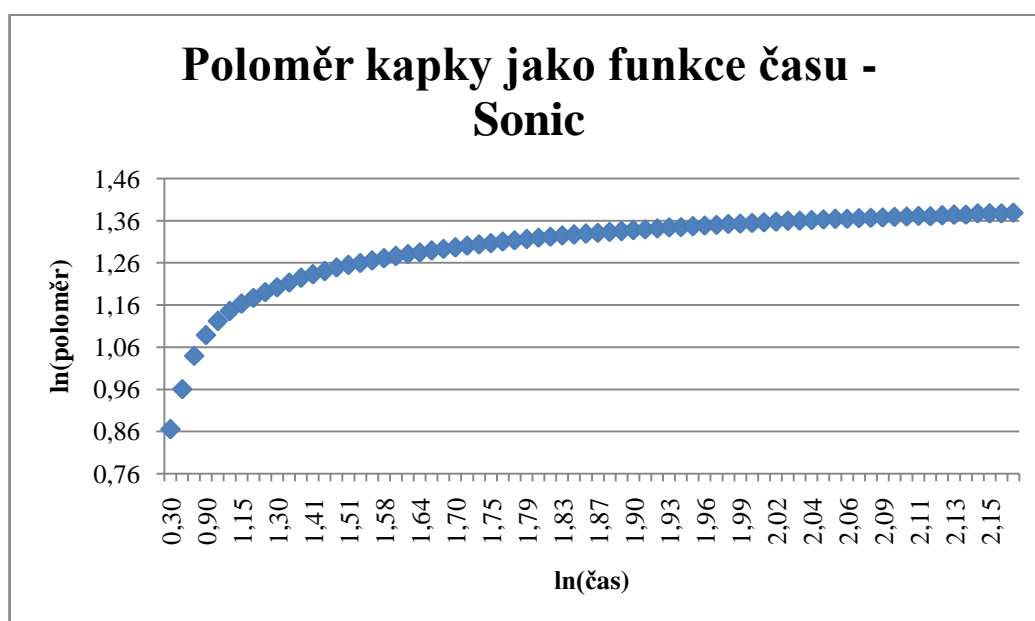
Pokud má směrnice přímky hodnotu $0,5 \pm 0,1$, můžeme předpokládat šíření molekulární difúzí. Pokud má směrnice má hodnotu od $0,05 < 0,1 < 0,2$ odpovídá rozpíjení kapky přibližně Tannerovu zákonu toku, kdy dynamika šíření kapaliny souvisí s povrchovým napětím. Pokud jsou hodnoty směrnic mimo tyto intervaly je rozpíjení kapky komplexnější proces.

Směrnice pro vzorky z Coolplus vláken byly označeny jako n_1 a n_2 , přičemž n_1 reprezentuje stav, kdy je na vzorku dostatek kapaliny.



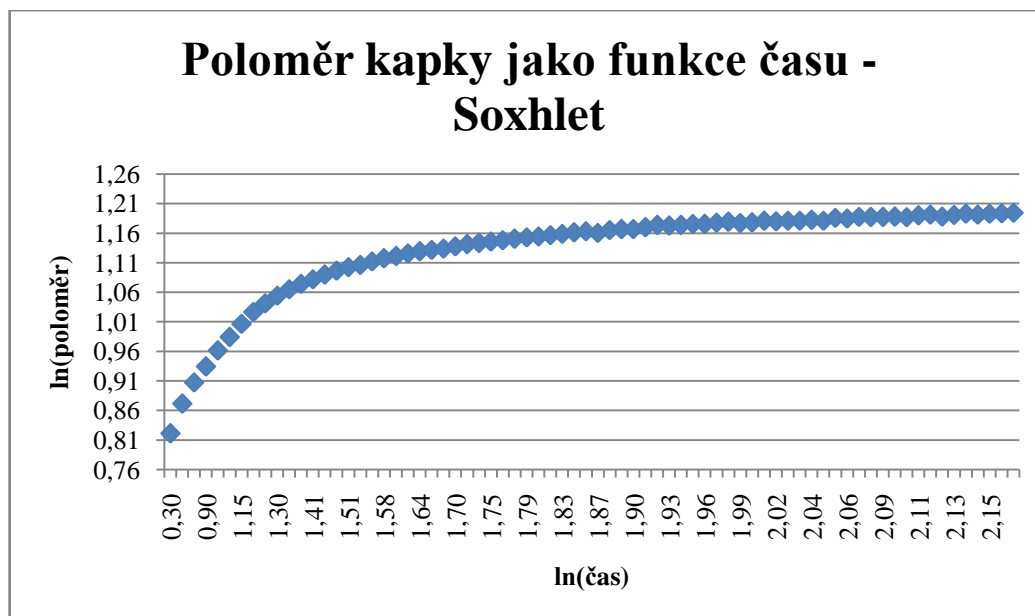
Obr. 48 Poloměr kapky jako funkce času v logaritmech - nepraný

U nepraného vzorku byly zjištěny směrnice $n_1 = 0,303867$ a $n_2 = 0,218818$.
Můžeme tedy určit, že kapka se v dlouhých časech rozpívá pomocí Tannerova toku.



Obr. 49: Poloměr kapky jako funkce času v logaritmech- Sonic

U vzorku, který byl upraven pomocí ultrazvukového čištění, vyšly směrnice $n_1 = 0,339584$ a $n_2 = 0,194912$. Kapka se v krátkých časech šíří kombinací difúze a Tannerova toku, a v dlouhých časech jen pomocí Tannerova toku.

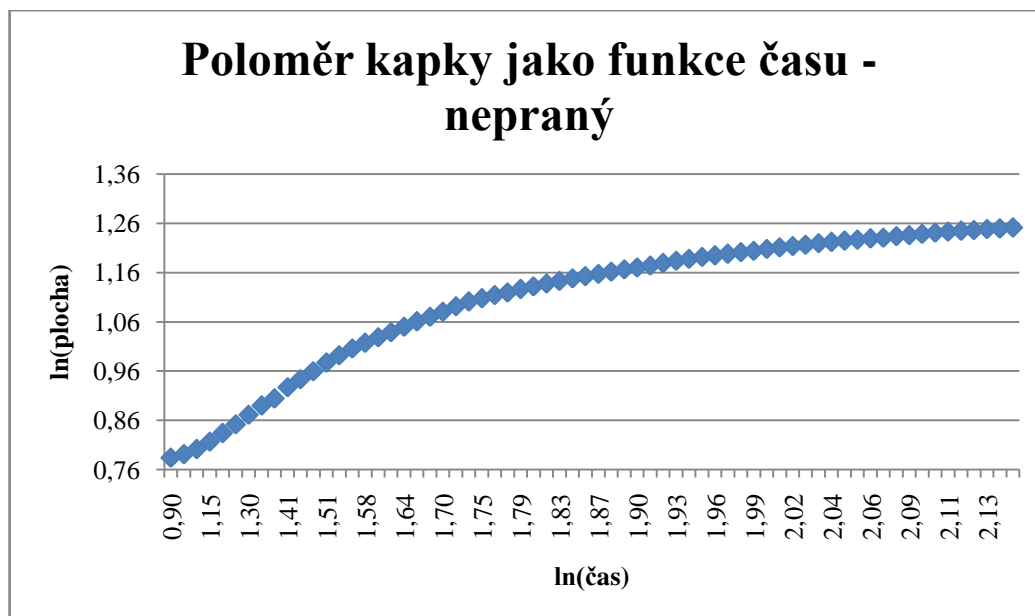


Obr. 50: Poloměr kapky jako funkce času v logaritmech - Soxhlet

U vzorků, které byly extrahovány v Soxhletově extraktoru vycházejí hodnoty nejmenší. Směrnice pro tuto úpravu jsou $n_1 = 0,248236$ a $n_2 = 0,123423$. V tomto případě je jednoznačné, že v dlouhých časech se kapalina šíří pomocí Tannerova toku. V krátkých časech je šíření kombinované, ale hodnota směrnice se blíží Tannerovu toku.

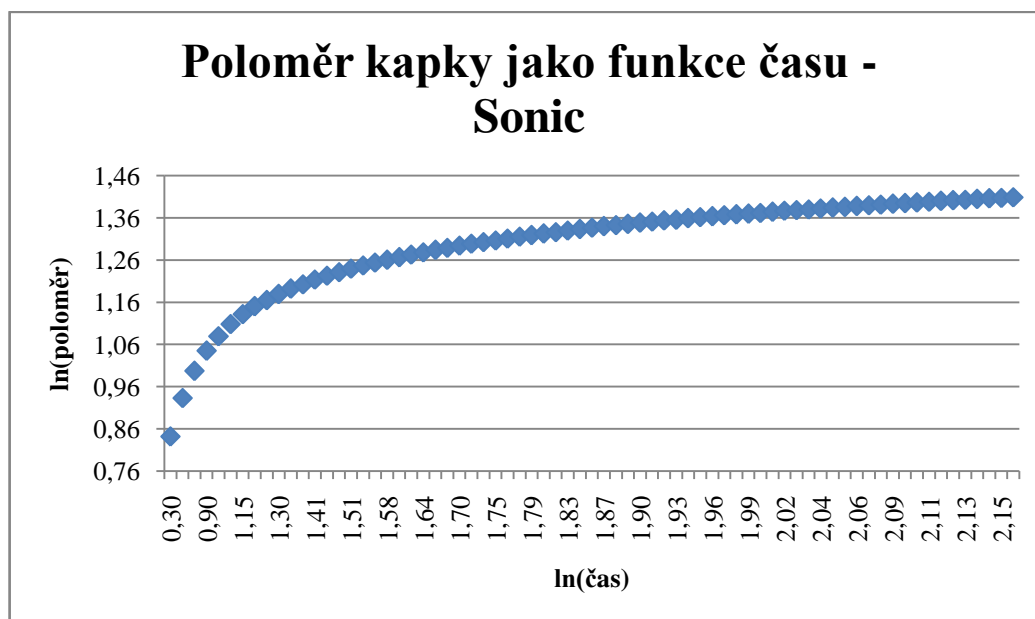
2.7.2. Poloměr kapky jako funkce času – kruhová vlákna

U vzorků z kruhových vláken (standard) vycházely směrnice v průměru o něco vyšší.



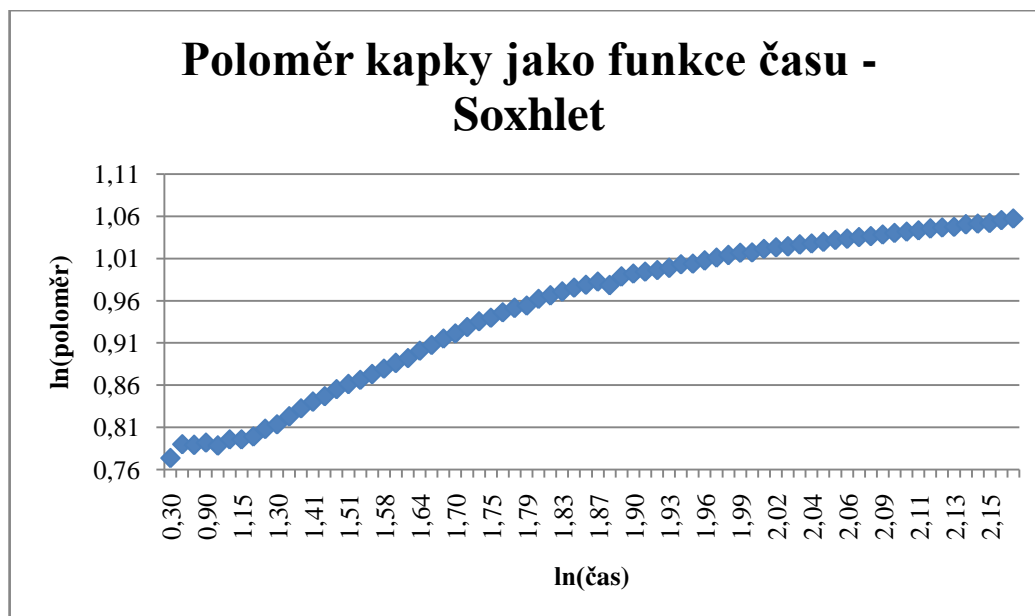
Obr. 51: Poloměr kapky jako funkce času v logaritmech - nepraný

Pro vzorky, které nebyly upravovány, byly zjištěny směrnice $n_1 = 0,452859$ a $n_2 = 0,324939$. Zde je patrné, že v krátkých časech se kapka šíří pomocí difúze. Naopak v dlouhých časech se kapka šíří kombinací obou mechanismů.



Obr. 52: Poloměr kapky jako funkce času v logaritmech - Sonic

Vzorky, které byly předupraveny v ultrazvukové lázni, jsou hodnoty směrnice: $n_1 = 0,340461$ a $n_2 = 0,262113$. V tomto případě, se kapka v krátkých i dlouhých časech šíří komplexnějším mechanismem.



Obr. 53: Poloměr kapky jako funkce času v logaritmech - Soxhlet

U vzorků, které byly extrahovány v Soxhletově extraktoru byly zjištěny hodnoty směrnic $n_1 = 0,0308871$ a $n_2 = 0,299804$. Stejně jako u předchozího případu, i v tomto se kapka v krátkých i dlouhých časech šíří komplexnějším mechanismem.

V regresi počítané v Matlabu byly zjištěny také úseky R_1 , které charakterizují rychlost šíření kapky. Tato vzdálenost odpovídá poloměru kapky v čase $t = 1$. Koeficienty označené jako R_1 reprezentují krátké časy a koeficienty R_2 platí pro dlouhé časy.

Tabulka 9: rychlost šíření kapaliny

	Standard		Coolplus	
	R_1	R_2	R_1	R_2
Nepraný	0,306404	0,557612	0,751711	0,884073
Sonic	0,736206	0,847067	0,768968	0,963178
Soxhlet	0,764973	0,415104	0,725381	0,930506

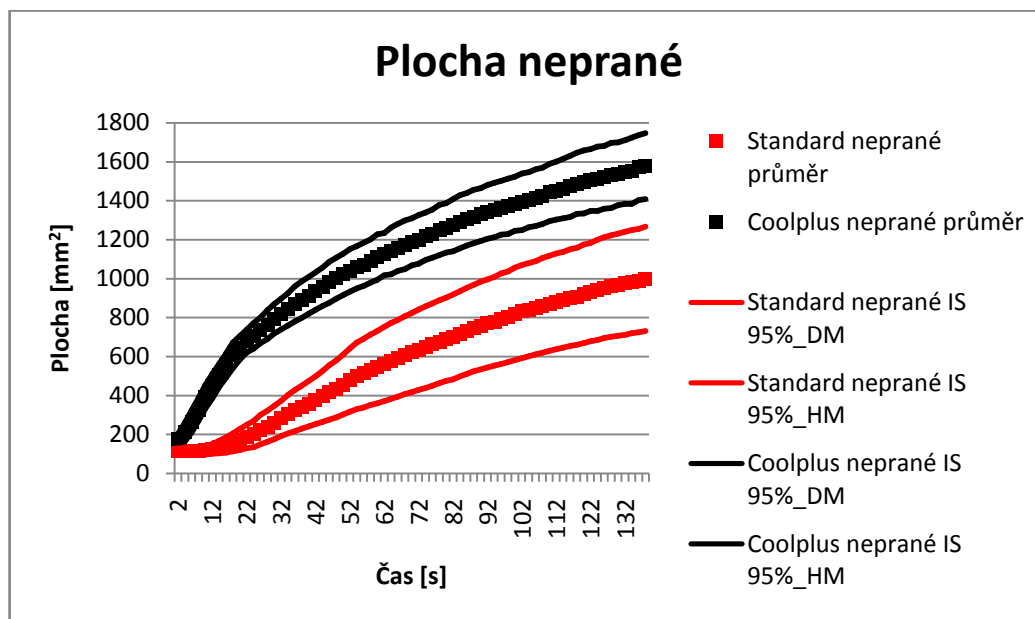
Z tabulky je patrné, že vzorky z Coolplus vláken šíří kapalinu rychleji než vzorky ze standardních vláken. Z krátkých i dlouhých časů má největší koeficient vzorek upravený v ultrazvukové lázni.

2.8. Porovnání vzorků z vláken různých průřezů

Výchozím předpokladem je, že pro vzorky z profilovaných Coolplus vláken budou mít kapky v různých časech větší plochu i obvod ve všech třech typech

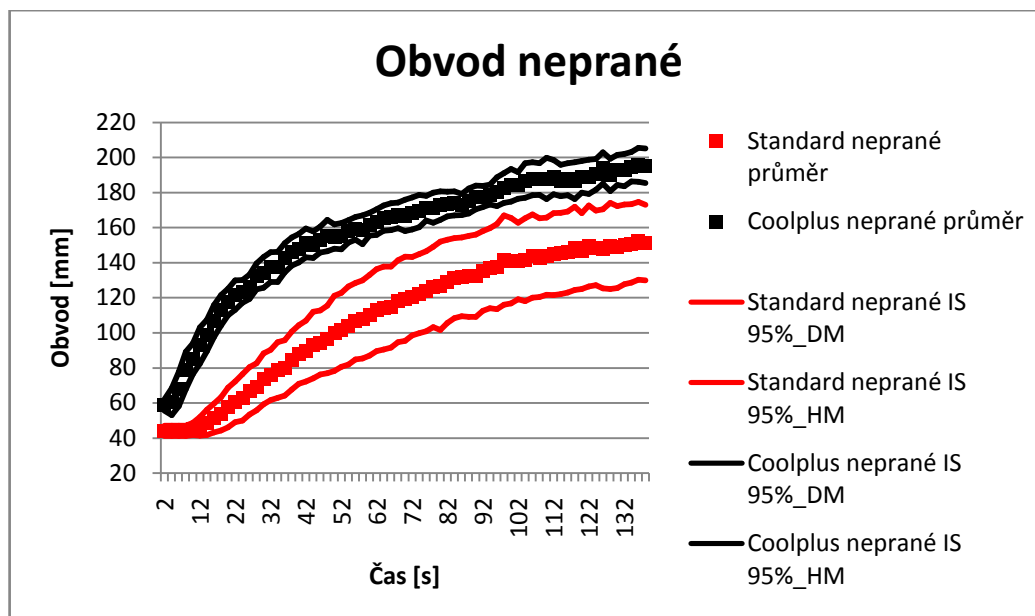
předúpravy. Je to podpořeno tím, že zde funguje kapilární vztlínání a vlhkost se tedy dostane dále od těžiště kapky.

Při srovnání ploch se potvrdil předpoklad, že vzorky z vláken Coolplus lépe rozvádějí vlhkost po povrchu textilií. Z grafu jsou patné statistické rozdíly mezi různými vzorky.



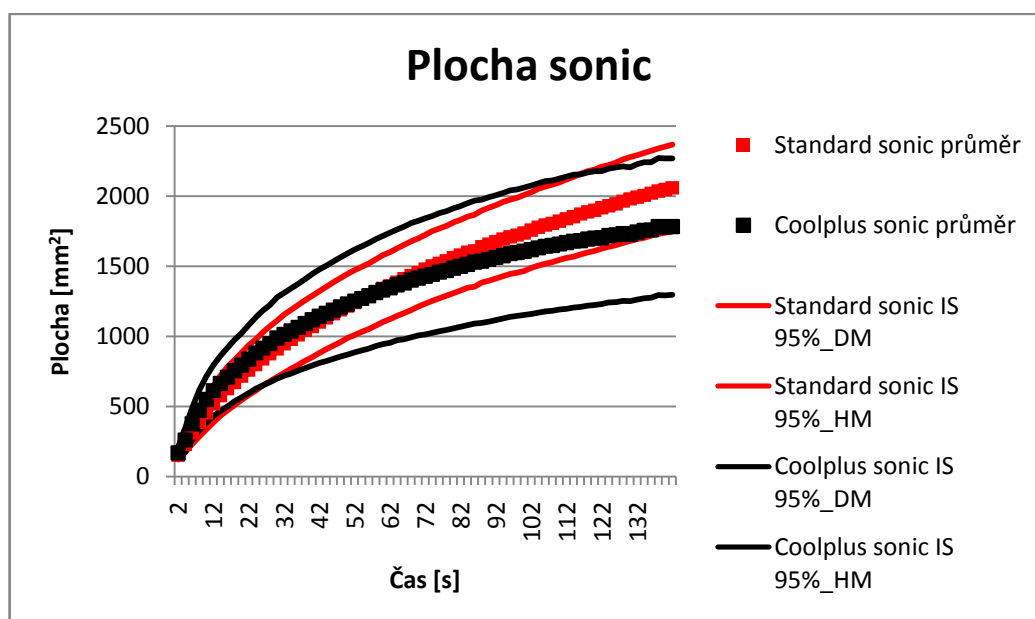
Obr. 54:1 Porovnání ploch kapky u nepraných vzorků

Stejně jako u plochy je i obvod kapky vzorků z Coolplus vláken statisticky větší, než u kapek na vzorcích ze standardních vláken.

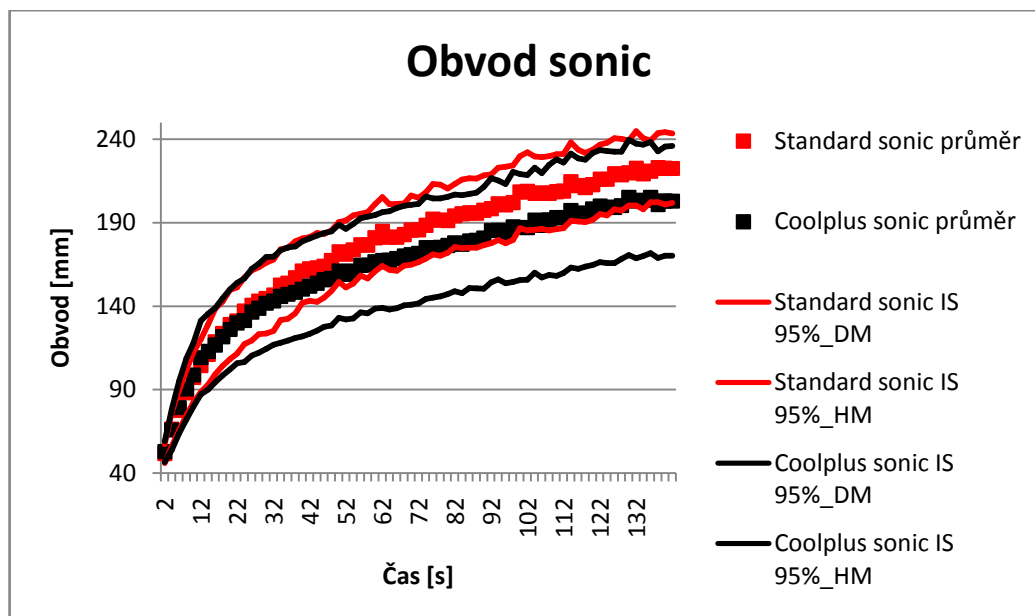


Obr. 55: Porovnání obvodů kapky u nepraných vzorků

Plocha kapek na obou vzorcích upravených v ultrazvukové lázni není statisticky rozdílná. Navíc je průměrná hodnota plochy i obvodu velice podobná. Toto odporuje předpokladu, který říká, že na vzorcích z Coolplus vláken funguje kapilární vztlínání.



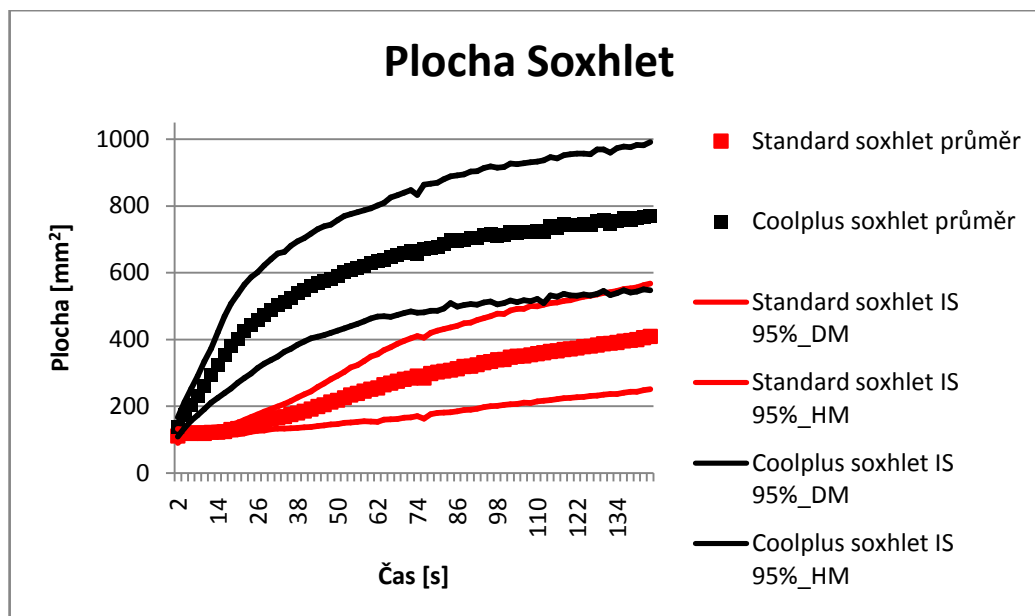
Obr. 56: Porovnání ploch kapky u sonifikovaných vzorků



Obr. 57: Porovnání obvodů kapek u sonifikovaných vzorků

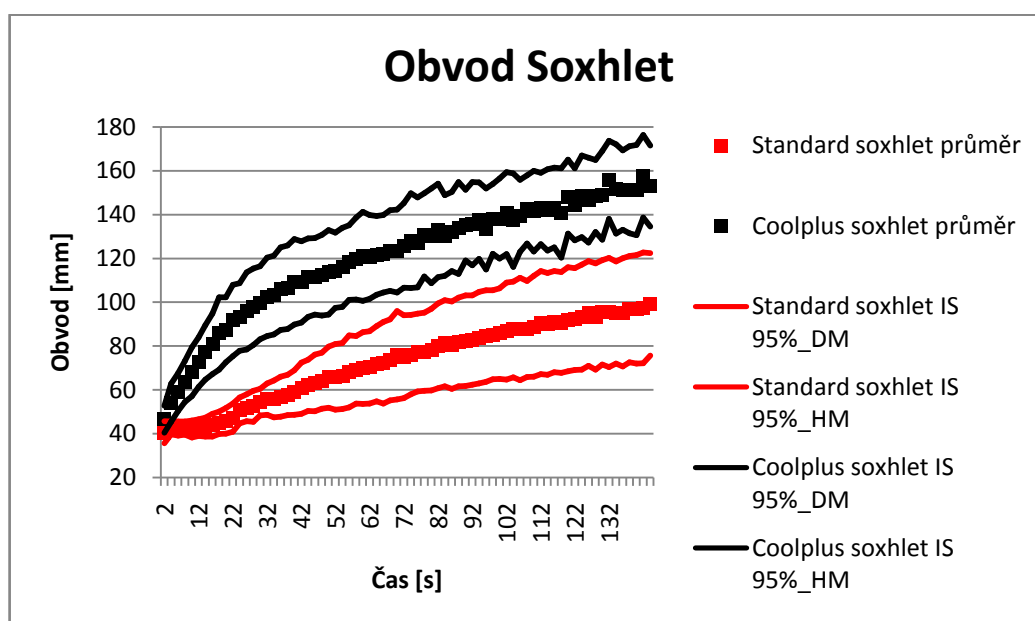
Vzorky prané v sonické lázni mají největší plochu, obvod i difúzní koeficient. Existuje předpoklad, že je to díky částečnému rozvláknění povrchu textilie vlivem ultrazvukových kavitací. Sonická lázeň je totiž na vlákenné úrovni velice agresivní. Při této úpravě dochází k lokálním explozím (kavitaci) v destilované vodě. Také se zde může lokálně zvýšit teplota až na 5000 °C a tlak až na 2000 atmosfér [44]. Díky těmto vlivům je možné, že se povrchové příze rozvolní a vzniknou větší mezivláknenné póry. Díky těmto pórům kapalina proudí lépe a rychleji.

Plochy u vzorků, které byly extrahovány v Soxhletově extraktoru jsou opět statisticky rozdílné. Kapky na vzorcích z Coolplus vláken se rozpíjejí více, protože dochází ke kapilárnímu vedení kapaliny.



Obr. 58: Porovnání ploch kapky u extrahovaných vzorků

Stejně jako u plochy, jsou i obvody statisticky rozdílné. A opět je obvod u materiálu z Coolplus vláken větší, než obvod u vzorků ze standardních vláken.

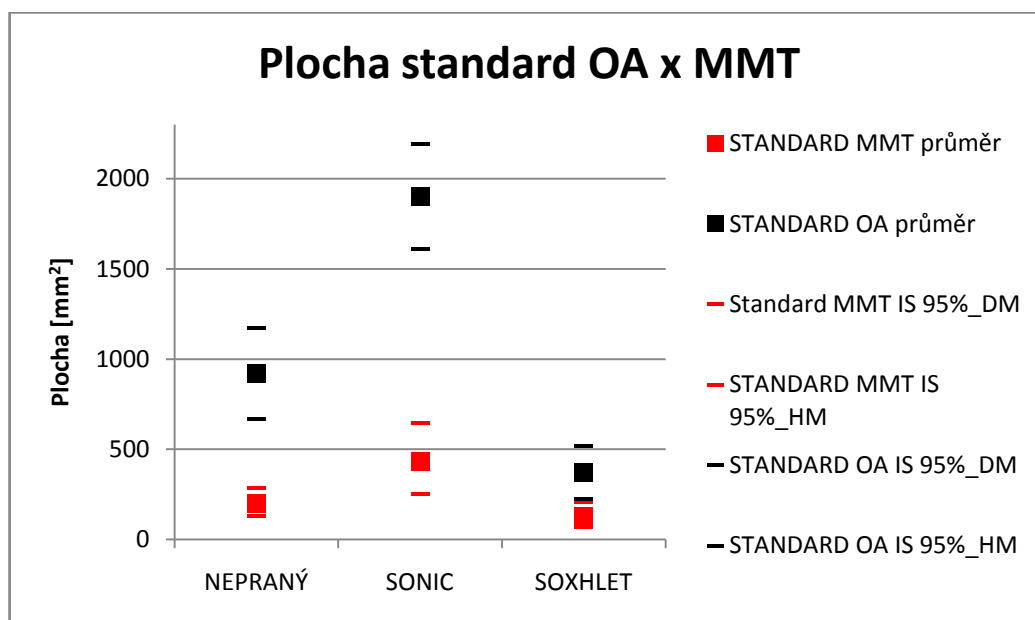


Obr. 59: porovnání obvodů kapky u extrahovaných vzorků

2.9. Porovnání s MMT

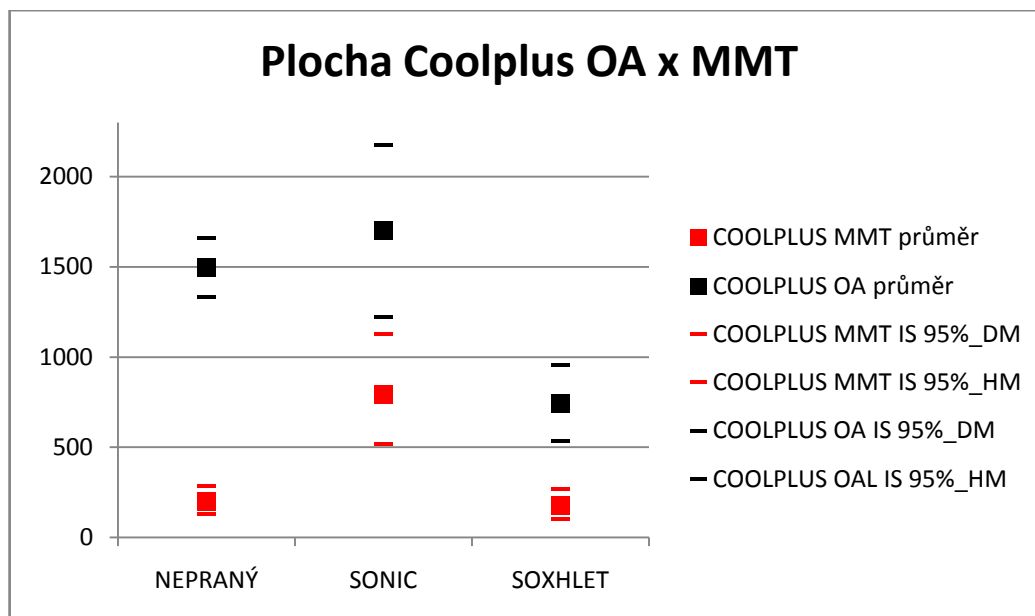
Byly zjišťovány rozdíly mezi měřením na Moisture Management Testeru a obrazovou analýzou. Tyto rozdíly byly pozorovány pouze na ploše (obvod koreluje) a na vzorcích ze kruhových a Coolplus vláken. Toto porovnání bylo provedeno ve všech třech typech předpravy. Předpokladem je, že by oba výsledky měly být podobné.

Na obr. 60 jsou porovnány plochy kapek vzorků z kruhových vláken v čase 120 s. Je patrné, že z obrazové analýzy (OA) vyšla plocha mnohem větší než z přístroje Moisture Management Tester.



Obr. 60: Porovnání ploch kapky z obrazové analýzy a MMT, standard

Dále se zjišťovala plocha kapek u vzorků z Coolplus vláken. Stejně jako u standardních vláken je tato plocha statisticky větší u metodiky s obrazovou analýzou než z přístroje MMT.



Obr. 61: Porovnání ploch kapky z obrazové analýzy a MMT, Coolplus

Zjištěné rozdíly jsou pravděpodobně dány tím, že přístroj MMT měří plochy pouze po pěti milimetrech a předpokládá kruhový tvar kapky. Když například bude kapka rozpitá od těžiště 14 mm, přístroj MMT určí, že je tato vzdálenost pouze 10 mm. Dále je to pravděpodobně způsobeno tím, že u obrazové analýzy jsme celkem přesně schopni určit okraj kapky, i když je vlhkosti na vzorku už velmi málo. Přístroj MMT pravděpodobně nedokáže přesně určit okraj kapky, když už je na vzorku velmi málo vlhkosti, která dostatečně nesníží odpor mezi měřicími hlavami.

3. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout metodiku, jak s pomocí obrazové analýzy popsat rozpíjející se kapku po povrchu textilie a porovnat některé výsledky s přístrojem Moisture Management Tester.

Tato práce je zaměřena na transport vlhkosti ve vybraných textiliích, kterými byly textilie z Coolplus vláken a vzorek ze standardních vláken.

Teoretická část je zaměřena především na stávající metodu, s využitím přístroje MMT, ale i na další metody zjišťování rozvodu vlhkosti po textiliích. U přístroje MMT je popsáno, jakým principem funguje a jaké výstupy se z něj mohou získat.

V experimentální části jsou popsány jednotlivé vzorky, které jsou zkoumány. Tato část je především zaměřena na polyesterový vzorek ze speciálních vláken Coolplus a referenční polyesterový vzorek ze standardních kulatých vláken. Obě tyto textilie jsou pletené. Vzorky jsou zkoumány ve třech úrovních předúpravy tj. neprané, vyprané v sonické lázni a vyprané v Soxhletově extraktoru. Je zde představena metoda, jak s pomocí obrazové analýzy popsat šíření kapaliny ve vzorcích na povrchu zkoumaného vzorku. Vyhodnocení, jak se šíří kapalina po povrchu zkoumaných vzorků je provedeno pomocí programů v Matlabu. Oba typy vzorků jsou vzájemně porovnány v každém ze tří typů předúpravy. Jsou porovnány plochy kapky určené z MMT s plochami určenými z obrazové analýzy.

Oproti stávajícímu přístroji Moisture Management Tester má navrhovaná metodika několik výhod. Lze přesně změřit plochy a obvody rozpíjejících se kapek na různých textiliích. Lze zde taky sledovat, jak se kapky rozpíjejí v určitých směrech. Nevýhodou pak je, že skripty v Matlabu jsou komplikované a nelze je univerzálně použít na všechny typy textilií různých barev. Dalším nedostatkem je, že navrhovaná metodika měří kapky pouze na lici straně textilie. Naproti tomu přístroj MMT dokáže šíření vlhkosti sledovat po obou stranách vzorku a také průchod vlhkosti z jedné strany textilie na druhou.

MMT poskytuje obecně komplexnější informace o komfortu. Zde popsaná metodika však vhodně zpřesňuje a částečně doplňuje MMT a podává doplňující informace o dynamice a hlubším porozuměním šířením kapaliny.

Bylo zjištěno, že šíření kapky na povrchu pletených textilií, pro vlákna Coolplus a kruhová vlákna se od sebe liší zejména díky různému tvaru vláken. Kapka se na textiliích z kruhových vláken rozpíjí méně než na textiliích vyrobených ze speciálních vláken Coolplus.

Velký vliv na textilii má i způsob předpravy vzorků. Vzorky prané v ultrasonické lázni mají i přes rozdílně použitá vlákna podobné vlastnosti. Je to pravděpodobně dáno tím, že ultrazvukové čištění je velice agresivní a mění povrchovou strukturu textilií.

Je důležité uvést, že difúzní koeficient je v původním smyslu časově nezávislý. V této práci vyšel zdánlivý difúzní koeficient jako klesající funkce času. Tato závislost je použita pouze jako ilustrační příklad. Difúze do válce je definovaná jako difúze z vnější strany dovnitř. V této práci je difúze použita v případě, kdy proniká kapalina od středového bodu ven.

Z výsledků lze usuzovat, že díky speciálnímu tvaru vlákna můžeme dosáhnout vyššího stupně šíření kapaliny v textilii. Tím lze dosáhnout i rozdílu ve vysoušení textilie. Čím je větší plocha rozpité kapky na textilii, tím snadněji se kapka může vysoušet.

4. Literatura

- [1] Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties. HUI, Junyan, Yi LI, Kwok-Wing YEUNG, Anthony S. W. WONG a Weilin XU. *Textile Research Journal* [online]. Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong: SAGE Publication, 2005 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://jpkc.wuse.edu.cn/ljq/jiaoxue/iFrame/lunwen/xwl/%E8%8B%B1%E6%96%87/2005-Moisture%20Management%20Tester%20A%20Method%20to%20Characterize%20Fabric%20Liquid%20Moisture%20Management%20Properties.pdf>
- [2] Chemical at Engeneering Transaction, Abderrazak Latifi M., Quiniou S., Lesage F., Ventenat V., Redortier B., Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, Oxylane Research, 4 bd de Mons, 59665, Villeneuve d'Ascq, France, 24 1375-1380, 2011
- [3] The Mathematics of Diffusion, Crank, J., Brunel University Uxbridge, Clarendon Press Oxford, 1975
- [4] MOISTURE MANAGEMENT TESTER. SDL ATLAS. 2010, DOI: M290 MMT.
- [5] Ultrazvukové čističky a ultrazvukové čištění. ULTRAZVUK S.R.O. *Ultrazvuk* [online]. 2011 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.ultrazvuk-sro.cz/>
- [6] Wang L. P., Li C.: A new method for measuring dynamic fabric heat and moisture comfort, *Exp. Ther. & Fluid Sci.*, 29, 705-714 (2005). JunyanHu, YiLi, Kwok-WingYeung, Anthony S. W. Wong and WeilinXu, Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties, *Textile Research Journal*, 2005
- [7] LiquidMoisture Management. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. *Textile protection and Comfort Center* [online]. North Carolina [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.tx.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/liquid-moisture-management/>

- [8] COMSOL. *Technical Papers and Presentations* [online]. 2013 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.comsol.com/paper/water-spreading-anaysis-on-fabrics-surfaces-1133>
- [10] Li, Y., Xu, W., and Yeung, K. W., Moisture Management of Textiles, U.S. patent 6,499,338 B2, 2000.
- [11] Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, MMT User Manual, p. 16, 2000.
- [12] Karger, J., Leipzig, Einstein, Diffusion, Leipziger Universitätsverlag, 2007
- [14] Wiener, J.: Smáčení polymerních povrchů, skripta TU Liberec, 2003
- [15] Pearson, J.: přednáška na TU Liberec, říjen 2000
- [16] AATCC Test Method 127-1998 (Water Resistance: Hydrostatic Pressure Test)
- [17] ČSN 80 0818 (identická s EN 20811:1992) Stanovení odolnosti proti pronikání vody – Zkouška tlakem vody
- [18] Pecháček, F., Jankovský, J.: Zkoušení textilií, SNTL, Prague, 1981
- [19] ČSN 80 6145 (identická s EN 13562:2000) Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím – Stanovení odolnosti proti pronikání vody (Zkouška hydrostatickým tlakem)
- [20] ČSN 80 0827 (identická s EN 24920:1992) Stanovení odolnosti plošných textilií vůči povrchovému smáčení (zkrápěcí metoda)
- [21] AATCC Test Method 22-2001 (Water repellency: Spray Test)
- [22] ISO 4920-1981
- [23] AATCC Test Method 35-2000 (Water Resistance: Rain Test)
- [24] Buras, E. M., Goldthwaite, C. F., and Kraemer, R. M.: Textile Res. J. 20, 239 – 248 (1950)
- [25] Korner, W., Dunova – An Absorbent Synthetic Fiber for High Wear Comfort, Chemiefasern/Textilind. 29, 452 – 462 (1979)
- [26] Lichstein, B. M., Demand Wettability, A New Method for Measuring Absorbency Characteristics of Fabrics, in „INDA Technical Symposium on Nonwoven Product Technology,“ 1974, pp. 129 - 142
- [27] Harnett, P.R., Mehta, P.N.: Textile Res. J., July 1984, 471-478
- [28] Meeren, P.V.d., Cocquyt, J., Flores, S.: Textile Res. J. 71 (5), 423-428 (2002)
- [29] Zhuang, Q., Harlock, S.C., Brook, D.B.: Textile Res. J. 72(8), 728-734 (2002)
- [30] De Boer, J. J.: Textile Res. J. 50, 624 – 631 (1980)

- [31]Lennox-Kerr, P., Leaglor: Super-Absorbent Acrylic from Italy, Textile Inst. Ind. 19, 83 – 84 (1981)
- [32] Tanner, D., Development of Textile Yarns Based on Customer Preferences, in „University of Manchester Symposium on Yarns and Yarn Manufacture,“ 1979
- [33] Hardman, T. A., Montedison U.K. Ltd., private communication with prof. Wiener
- [34] Clark, D. B., and Miller, B.: Textile Res. J. 48, 256 – 260 (1978)
- [35] Nguyen, H. V., Durso, D.F.: „TAPPI Proceedings, International Dissolving and Specialty Pulps Conference“, Boston, MA, 1983, 137-141
- [36] DIN 53924 (1978)
- [37]Hollies, N. R. S., Kaessinger, M. M., Watson, B. S., and Bogaty, H.: Textile Res. J. 27, 8 – 13 (1957)
- [38]Mehrtens, D. G. And McAlister, K. C.: Textile Res. J. 32, 658 – 665 (1962)
- [39] Waschburn, E. W.: Phys. Rev. 27, 273 (1923)
- [40] Lucas, R.: Kolloid Z. 23, 15 (1918)
- [41] Wiener, J.: Vzlínání kapaliny v přízi, konference Strutex 2001, Liberec, prosinec 2001
- [42] Zhmund, B.V., Tiberg, F., Hallstensson, K.: J. of Colloid and Interface Sci. 228, 263-269 (2000)
- [43] Reviews of Modern Physics, Volume 81, Wetting and Spreading, Daniel Bonn, University of Amsterdam, Jens Eggers, University of Bristol, Joseph Indekeu, Katholieke University Leuven, Jacques Meunier and Etienne Rolley, Laboratoire de Physique Statique, May 2009
- [44] Preparing Antibacterial Textiles by Sonochemical Methods, Aharon Gedanken, Department of Chemistry, Bar-Ilan University, Ramat-Gan, Israel, Lecture at the ICCE-18 Anchorage, Alaska July 7, 2010
- [45] Härth M., Schubert D.W., Simple Approach for Spreading Dynamics of Polymeric Fluids, Macromol. Chem. Phys., 213, 654–665, 2012, DOI: 10.1002/macp.201100631 (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/macp.201100631/abstract>)